

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 9
VOLUME 9

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

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN UNMANNED AERIAL VEHICLE INDUSTRY	7
<i>VYUŽITIE UMELEJ INTELIGENCIE V ODVETVÍ LIETAJÚCICH BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV.....</i>	<i>7</i>
STREAMLINING PILOT TRAINING WITH NEW SIMULATION TECHNOLOGIES	13
<i>ZEFEKTÍVNENIE PILOTNÉHO VÝCVIKU POMOCOU NOVÝCH SIMULAČNÝCH TECHNOLOGIÍ</i>	<i>13</i>
USING SDR RECEIVERS FOR UAV DETECTION.....	20
<i>VYUŽITIE SDR PRIJÍMAČOV PRE DETEKCIU UAV.....</i>	<i>20</i>
IMPLEMENTATION OF A NEW RWY REPORTING SYSTEM AND SNOWTAM FORMAT IN SLOVAK REPUBLIC.....	26
<i>IMPLEMENTÁCIA NOVÉHO FORMÁTU OHLASOVANIA STAVU RWY A SNOWTAM V SR.....</i>	<i>26</i>
THE AIRSPACE OF SR AND ITS PROTECTION.....	31
<i>VZDUŠNÝ PRIESTOR SR A JEHO OCHRANA.....</i>	<i>31</i>
WEATHER INFLUENCE ON FLIGHT IN MOUNTAIN TERRAIN	36
<i>VPLYV POČASIA NA LET V HORSKOM TERÉNE.....</i>	<i>36</i>
THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE MOUNTAIN RESCUE SERVICE.....	43
<i>MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V HORSKEJ ZÁCHRANNEJ SLUŽBE</i>	<i>43</i>
METEOROLOGICAL RADIOLOCATOR AS A TOOL TO IMPROVE METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AVIATION	50
<i>METEOROLOGICKÝ RÁDIOLOKÁTOR AKO NÁSTROJ NA ZLEPŠENIE METEOROLOGICKÝCH INFORMÁCIÍ PRE LETECTVO..</i>	<i>50</i>
NEW TRENDS IN AIRCRAFT DESIGN	57
<i>NOVÉ TRENDY V KONŠTRUKCII LIETADIEL.....</i>	<i>57</i>
AERODYNAMIC AIRFOILS AND THEIR APPLICATIONS	60
<i>AERODYNAMICKÉ PROFILY A ICH VYUŽITIE.....</i>	<i>60</i>
DISASSEMBLY, INSPECTION, REPAIR AND ASSEMBLY TECHNIQUES.....	67
<i>TECHNIKY DEMONTÁŽE, KONTROLY, OPRAVY A MONTÁŽE LIETADLOVÝCH KOMPONENTOV.....</i>	<i>67</i>
COMPARISON OF PILOT'S WORKLOAD DURING NDB AND ILS APPROACHES.....	73
<i>POROVNANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTOV POČAS NDB A ILS PRIBLIŽENIA</i>	<i>73</i>
LEGISLATIVE FRAMEWORK FOR AN AIRCRAFT MAINTENANCE TECHNICIAN	80
<i>LEGISLATÍVNY RÁMEC PRE TECHNIKA ÚDRŽBY LIETADIEL</i>	<i>80</i>
POSSIBLE MODIFICATIONS OF THE AUTOMOBILE PISTON PETROL ENGINE FOR AIRCRAFT PROPULSION: COOLING, STARTING AND IGNITION SYSTEM.....	86
<i>MOŽNOSTI ÚPRAVY AUTOMOBILOVÉHO PIESTOVÉHO ZÁŽIHOVÉHO MOTORA PRE POHON LETÚNOV: CHLADIACA, SPÚŠŤACIA A ZAPAĽOVACIA SÚSTAVA</i>	<i>86</i>
METEOROLOGICAL SATELLITE AS AN IMPORTANT SOURCE OF METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AVIATION ...	92
<i>METEOROLOGICKÁ DRUŽICA AKO VÝZNAMNÝ ZDROJ METEOROLOGICKÝCH INFORMÁCIÍ PRE LETECTVO.....</i>	<i>92</i>
OBJECTIVE EVALUATION OF IFR TRAINING FLIGHTS	98
<i>OBJEKTÍVNE HODNOTENIE VÝCVIKOVÝCH LETOV IFR</i>	<i>98</i>

UTILIZATION OF BIOFEEDBACK FOR EXAMINATION OF DIFFERENCES IN REACTION TO WORKLOAD BETWEEN INCHOATIVE PILOTS AND CHOSEN STUDENTS OUTSIDE OF TRAINING PROGRAM.....	103
<i>VYUŽITÍ BIOLOGICKÉ ZPĚTNÉ VAZBY PŘI MĚŘENÍ ROZDÍLU REAKCE NA PRACOVNÍ ZATÍŽENÍ ZAČÍNÁJÍCÍCH PILOTŮ A VYBRANÝCH STUDENTŮ MIMO VÝCVIK.....</i>	<i>103</i>
SIMULATIONS OF AERODYNAMICS	109
<i>SIMULÁCIE V AERODYNAMIKE</i>	<i>109</i>
UPGRADE OF THE BITD TO AN ONLINE MULTIROLE SIMULATOR.....	118
<i>AKTUALIZÁCIA BITD NA ONLINE VIACÚČELOVÝ SIMULÁTOR.....</i>	<i>118</i>
CPDLC, EFFECTS ON INCREASING EFFICIENCY AND SAFETY IN AIR TRAFFIC (SYSTEM SUBSTITUTE FOR GA)	123
<i>CPDCL, VPLYV NA ZVÝŠENIE BEZPEČNOSTI A EFEKTIVITY V LETOVEJ PREVÁDZKE (OBDOBA SYSTÉMU PRE GA)</i>	<i>123</i>
MEASURING OF PILOT WORKLOAD	131
<i>MERANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTA.....</i>	<i>131</i>
OPTIONS FOR USE OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN FIRE AND RESCUE SERVICES.....	136
<i>MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V HASIČSKÝCH A ZÁCHRANNÝCH ZBOROCH</i>	<i>136</i>
INCREASING THE SAFETY OF OPERATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN ADVERSE METEOROLOGICAL CONDITIONS	141
<i>ZVYŠOVANIE BEZPEČNOSTI PREVÁDZKY BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH PROSTRIEDKOV POČAS NEPRIAZNIVÝCH METEOROLOGICKÝCH PODMIENOK.....</i>	<i>141</i>
MODIFICATION POSSIBILITIES OF AUTOMOTIVE POWER PLANT FOR AVIATION PURPOSES: FUEL SYSTEM AND TURBOCHARGER SYSTEM.....	147
<i>MOŽNOSTI ÚPRAVY AUTOMOBILOVÉHO ZÁŽIHOVÉHO PIESTOVÉHO MOTORA PRE POHON LETÚNOV PALIVOVÁ SÚSTAVA A SYSTÉM PREPLŇOVANIA</i>	<i>147</i>
AERODYNAMIC PROFILE DRAG	153
<i>PROFILOVÝ AERODYNAMICKÝ ODPOR</i>	<i>153</i>
INTERNATIONAL REGULATION OF AIR FREIGHT	159
<i>MEDZINÁRODNOPRÁVNA ÚPRAVA LETECKEJ PREPRAVY</i>	<i>159</i>
DESIGN OF LUBRICATION SYSTEM, DESIGN OF MOTOR BED, SELECTING OF PROPELLER FOR AIRCRAFT PISTON ENGINE.....	165
<i>NÁVRH MAZACEJ SÚSTAVY, NÁVRH MOTOROVÉHO LÔŽKA, VÝBER VRTULE PRE LIETADLOVÝ PIESTOVÝ MOTOR</i>	<i>165</i>
ANALYSIS OF NEW PROGRESSIVE DIAGNOSTIC METHODS IN THE AREA OF AIRCRAFT MAINTENANCE.....	171
<i>ANALÝZA NOVÝCH PROGRESÍVNYCH DIAGNOSTICKÝCH METÓD V OBLASTI ÚDRŽBY LETECKEJ DOPRAVY.....</i>	<i>171</i>
SYSTEM OPTIMIZATION DEMONSTRATOR FOR AIRCRAFT PROPULSION TECHNOLOGY USING FUEL CELLS	176
<i>DEMONŠTRÁTOR SYSTÉMU OPTIMALIZÁCIE TECHNOLOGIE POHONU LETÚNOV POMOCOU PALIVOVÝCH ČLÁNKOV</i>	<i>176</i>
CREATING STUDY MATERIALS – BEARINGS, SHAFTS, SPRINGS AND GEARS.....	179
<i>TVORBA ŠTÚDIJNÝCH MATERIÁLOV – LOŽISKÁ, HRIADELE, PRUŽINY A PREVODY</i>	<i>179</i>

ANTI-COLLISION SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES.....	188
<i>PROTIZRÁŽKOVÉ SYSTÉMY BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV</i>	<i>188</i>
IGNITION SYSTEMS OF COMBUSTION PISTON ENGINE AND POSSIBILITY OF ITS OPTIMIZATION	196
<i>SYSTÉMY ZAPALOVÁNÍ PÍSTOVÝCH ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ A MOŽNOSTI JEJICH OPTIMALIZACE</i>	<i>196</i>
FUNDING OPTIONS OF REGIONAL AIRPORTS IN THE CONTEXT OF PRESENT LEGISLATION	201
<i>MOŽNOSTI FINANCOVANIA REGINÁLNYCH LETÍSK V KONTEXTE SÚČASNEJ LEGISLATÍVY</i>	<i>201</i>
CALCULATION AND SIMULATION OF THE PARACHUTIST'S MOVEMENT FROM THE JUMP FROM THE AIRCRAFT TO LANDING ON THE GROUND.....	206
<i>VÝPOČET POHYBU PARAŠUTISTU OD VYSKOKU Z LIETADLA AŽ PO DOPAD NA ZEM.....</i>	<i>206</i>
DEVELOPMENT OF SECURITY MEASURES AT PUBLIC INTERNATIONAL AIRPORTS IN RELATION TO THE HISTORY OF THREATS AGAINST CIVIL AVIATION	209
<i>VÝVOJ BEZPEČNOSTNÝCH OPATRENÍ NA VEREJNÝCH MEDZINÁRODNÝCH LETISKÁCH V SÚVISLOSTI S HISTÓRIOU HROZIEB PROTI CIVILNÉMU LETECTVU</i>	<i>209</i>
ANALYSIS OF IMPLEMENTATION INSTRUMENT APPROACHES FOR HEMS HELIPORTS	214
<i>ANALÝZA MOŽNOSTÍ PRÍSTROJOVÉHO PIRLBÍŽENIA NA HELIPORTY VZSS.....</i>	<i>214</i>
PROTECTION AGAINST ACTS OF UNLAWFUL INTERFERENCE IN CIVIL AVIATION IN THE CONDITIONS OF THE SLOVAK REPUBLIC AND THE CZECH REPUBLIC	220
<i>OCHRANA PRED ČINMI PROTIPRÁVNEHO ZASAHOVANIA DO CIVILNÉHO LETECTVA V PODMIENKACH SR A ČR.....</i>	<i>220</i>
THE CORONACRISIS AND ITS IMPACT ON CHANGES IN CIVIL AVIATION LEGISLATION	227
<i>KORONAKRÍZA A JEJ DOPA NA ZMENY V LEGISLATÍVE CIVILNÉHO LETECTVA</i>	<i>227</i>
INVESTIGATION OF AIR ACCIDENTS AND THEIR BENEFITS FOR SAFETY IN CR AND SR	235
<i>VYŠETROVANIE LETECKÝCH NEHÔD A ICH PRÍNOS PRE BEZPEČNOSŤ V OBLASTI ČR A SR.....</i>	<i>235</i>
FLYING IN WAVE CONDITIONS, PRICIPLE OF LFYING IN WAVE, HISTORY AND DANGERS	241
<i>LIETANIE VO VLNOVÝCH PODMIENKACH, JEHO PRINCÍP, HISTÓRIA A NEBEZPEČENSTVÁ</i>	<i>241</i>

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN UNMANNED AERIAL VEHICLES INDUSTRY

VYUŽITIE UMELEJ INTELIGENCIE V ODVETVÍ LIETAJÚCICH BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV

Adam Buday
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
adam.buday@centrum.sk

Viliam Ažaltovič
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
viliam.azaltovic@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of this paper is the analysis of the contemporary state of implementation of artificial intelligence in the area of unmanned aerial vehicles (UAV), and a proposal of further use of artificial intelligence systems in this area in the future. We analyse three essential areas in which artificial intelligence systems are currently being implemented to some extent – path following, object detection and tracking, and anti-collision systems. In each mentioned area we apply different solution methods, technical requirements, but also advantages and disadvantages of those solutions. We present an overview of artificial intelligence as a scientific branch. Finally, we present an overview of how artificial intelligence in the field of UAV could be implemented in the future, based on an analysis of the current state and direction of research and development in the present. We describe the possibilities of use artificial intelligence systems in two areas that are currently receiving the most attention at concept level, namely the flight of autonomous UAV swarms and the improvement of communication and data exchange between individual UAVs using artificial intelligence.

Keywords

Unmanned aerial vehicles, artificial intelligence, machine learning, artificial neural networks

1. Úvod

V súčasnosti dochádza k masovému využívaniu bezpilotných lietajúcich prostriedkov v mnohých oblastiach, či už v civilnej, alebo vo vojenskej oblasti. Dôvodom je najmä ich široká komerčná dostupnosť a výrazne nižšie náklady pri porovnaní s použitím pilotovaných letúnov. V poslednom desaťročí našli svoje využitie v oblasti bezpilotných lietajúcich prostriedkov aj systémy, ktoré pracujú na princípe umelej inteligencie. Ukazuje sa, že použitie týchto systémov bude kľúčové pri ich použití v mnohých ďalších sférach.

Cieľom tejto práce je poskytnutie prehľadu o súčasnom stave využitia systémov pracujúcich na princípe umelej inteligencie v oblasti bezpilotných lietajúcich prostriedkov (ďalej UAV), a analýze možností ich širšieho využitia v budúcnosti, po vyriešení problémov a nedostatkov, ktoré v súčasnosti ich širšie využitie nedovoľujú, alebo značne obmedzujú.

V prvej kapitole sa venujeme analýze súčasného stavu implementácie systémov využívajúcich princípy umelej inteligencie v oblasti UAV. Sledujeme tu 3 hlavné oblasti, pri ktorých sú v súčasnosti systémy pracujúce na princípoch umelej inteligencie využívané v najväčšej miere: autonómna navigácia, autonómne protizrážkové systémy a autonómna detekcia a sledovanie objektu.

V druhej kapitole sa venujeme podrobnejšej definícii pojmu umelá inteligencia a stručnej histórii vývoja umelej inteligencie ako vednej disciplíny. Taktiež opisujeme princíp činnosti dvoch

konceptov, ktoré sú v najväčšej miere využívané v oblasti autonómnych systémov UAV – strojové učenie a umelé neuronové siete.

Tretia kapitola opisuje metódy a postupy, ktoré sme používali pri tvorbe tejto práce.

V poslednej kapitole sa venujeme analýze možností širšieho využitia UAV v civilnej, ako aj vo vojenskej sfére. V prípade budúceho využitia umelej inteligencie v oblasti UAV sa zaoberáme letmi formácií autonómnych UAV, ako aj možnosti využitia umelej inteligencie ako nástroja pre zefektívnenie komunikácie a výmeny dát medzi jednotlivými UAV.

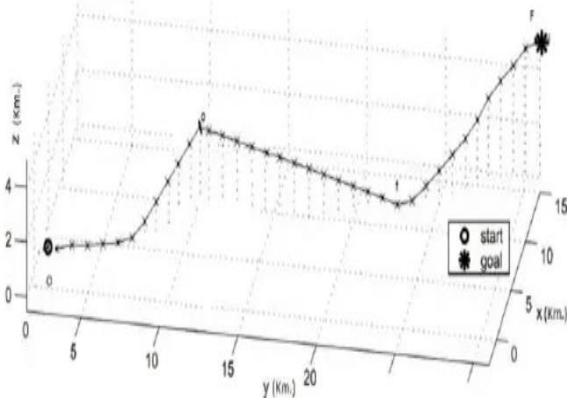
1.1. Analýza súčasného stavu

Systémy pracujúce na princípe umelej inteligencie nachádzajú svoje uplatnenie aj v oblasti UAV. Umožňujú vývoj rôznych autonómnych systémov a funkcií, a tým znižujú pracovné zaťaženie UAV. Taktiež môžu znížiť riziko nehody spôsobenej zlyhaním ľudského faktora. Väčšina z nich je v súčasnosti autonómnych iba do istej miery, resp. iba niektoré činnosti sú automatizované. Najväčším problémom, ktorý bráni širšej implementácii umelej inteligencie v oblasti UAV, je nedostatok výpočtovej kapacity.

1.2. Plánovanie trasy UAV s využitím umelej inteligencie

Pri pohybe v dynamickom prostredí sa UAV sa musia počas letu vyhýbať prekážkam a náhlym, neočakávaným hrozbám (tzv. pop – up threats). Pre zvýšenie efektivity musí plne autonómne UAV

letieť po optimálnej, alebo skoro optimálnej trase. Hlavným problémom pri plánovaní trasy autonómnych UAV je neistota spojená s dynamickým prostredím a implementácia autonómneho rozhodovacieho algoritmu v danom časovom okne. Pre riešenie dynamického plánovania trasy je v súčasnosti používaných niekoľko druhov algoritmov, ako napríklad A*, GA, VPF, alebo MPC. [1]



Obrázok 1: Geometria trasy UAV s využitím význačných bodov. Zdroj: [2].

Pre dynamické plánovanie trasy sa vo všeobecnosti používa segmentácia trate na význačné body, medzi ktorými je vzhľadom na optimalitu vypočítaná vhodná trasa. UAV sa môžu počas letu stretnúť s nepredvídanými hrozbami alebo prekážkami, preto musia disponovať schopnosťou dynamického plánovania trasy. Akonáhle UAV zachytí nepredvídanú prekážku, musí preplánovať svoju trasu pomocou revízie referenčnej trasy, aby sa zabránilo kolíziám. [2]

1.3. Proporcionálna navigácia v oblasti UAV, využitie strojového učenia

So zvyšujúcim sa počtom letúnov prevádzky je vzájomná kolízia čoraz vážnejšou hrozbou. Jednou z možností riešenia tejto hrozby je použitie autonómnej proporcionálnej navigácie, ktorá je v súčasnosti najpoužívanejšou v oblasti UAV. Aj keď bola proporcionálna navigácia vyvinutá už v 60. rokoch 20. storočia, stále sú jej možnosti a charakteristiky predmetom širšieho výskumu. Táto môže byť použitá pre účely navigácie, aj ako prostriedok vyhnutia sa narušiteľovi. V súčasnosti sa vykonáva riadenie letovej prevádzky UAV najmä na pozemných stanovištiach riadenia letovej prevádzky. Avšak s rýchlym nárastom objemu leteckej dopravy a počtu UAV, pozemné riadenie letovej prevádzky nebude dostačujúce na efektívne pokrytie a navádzanie každého letúna. Preto sú vyvíjané samostatné palubné systémy navigácie, riadenia a protizrážkových systémy. [3]

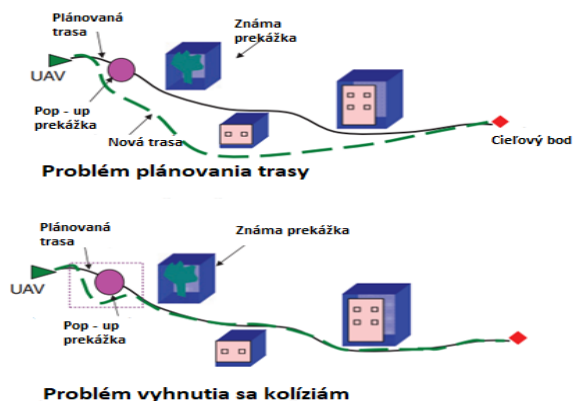
Umelá inteligencia poskytuje viacero algoritmov pre hľadanie optimálnych riešení komplexných problémov a systémy samostatného učenia, ktoré vylepšujú správanie sa modelu na základe predchádzajúcich skúseností. Umelá inteligencia je používaná pre hľadanie optimálnej dráhy letu a pre predchádzanie kolíziám. Algoritmus umelej inteligencie učenia sa je založený na základnej proporcionálnej navigácii. Vylepšený algoritmus učenia sa neustále mení na základe predchádzajúcich

skúseností. Pre riešenie vyhnutia sa kolíziám je teda najvhodnejšie použiť algoritmy strojového učenia (machine learning). Tieto používajú reálne modely na učenie a vyhodnotenie rôznych scenárov. Reálne modely vyžadujú abstraktné, nerelevantné informácie pre zvýšenie rýchlosti vyhodnotenia daného problému, avšak tieto musia byť také, aby došlo k čo najmenšej redukcii typického správania sa. [4]

1.4. Autonómne protizrážkové systémy UAV

Pri mnohých aplikáciách UAV je potrebný let v nízkej výške, čo automaticky zvyšuje riziko kolízie s prírodnou, alebo umelou prekážkou. Preto sa vyžaduje schopnosť detekcie prekážky a plnenie pôvodnej úlohy v tom istom čase. Táto schopnosť vyžaduje implementáciu robustných, výpočtovo uskutočniteľných protizrážkových algoritmov. Tieto algoritmy musia spĺňať viaceré kritériá, a to: zohľadnenie dynamiky daného UAV, čo najkratší čas implementácie po detekcii prekážky, efektívne využitie výpočtových zdrojov a vykonanie uhýbacieho manévru vzhľadom na optimalitu trasy.

Vo všeobecnosti sú autonómne protizrážkové algoritmy riešené dvoma spôsobmi: ako problém plánovania trasy alebo ako problém vyhýbania sa kolíziám. Pri probléme plánovania trasy sa vzhľadom na optimalitu po vykonaní uhýbacieho manévru vypočíta nová trasa. Naopak, pri použití problému vyhýbania sa kolíziám sa UAV vracia na pôvodnú trasu. Toto riešenie je vhodné napríklad pri prieskume terénu, kde nie je pevná požiadavka na konkrétnu trasu. [5]



Obrázok 2: Zobrazenie problémov plánovania trasy a vyhnutia sa kolíziám. Zdroj: [5].

1.5. Detekcia a sledovanie objektu s použitím autonómnych UAV

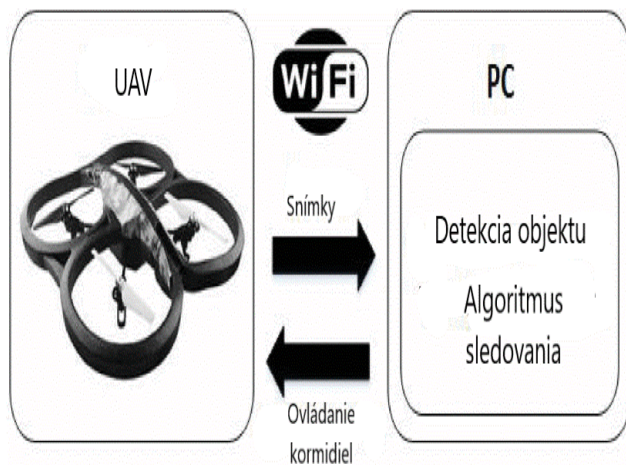
V poslednom období výrazne vzrástol záujem o použitie autonómnych UAV, napríklad pri prieskume danej oblasti, pátraní a záchrane a kontrole infraštruktúry. Pri týchto aplikáciách UAV je vizuálna detekcia daného objektu kľúčovým prvkom a vyžaduje vývin plne autonómnych systémov. Detekcia objektu je však veľmi náročná, najmä pri použití bežne dostupných nízkonákladových UAV. Rozlíšenie kamery je často nízke, a obraz daného objektu býva rozmazaný v dôsledku pohybu UAV. Ďalším limitujúcim faktorom v tejto oblasti je potreba pre výkon detekcie a rozpoznania v reálnom čase.

Výkon pri rozpoznávaní objektov sa však rapídne vylepšuje, vďaka vývoju prelomových techník počítačového videnia, ktoré správne funguje pre širokú škálu objektov. Väčšina týchto techník je založená na princípe „hlbokého učenia“ (deep learning). Klúčovou metódou je tu určenie modelov pri jednotlivých objektoch použitím surových pixelových dát, namiesto tradičného prístupu vytvorenia algoritmu pre každý objekt. Vytvorenie týchto modelov bude vyžadovať vytvorenie veľkých datasetov. Tento problém môže byť vyriešený vytvorením veľkokapacitných databáz. Pri rozpoznávaní objektov z danej databázy je potrebné použiť výkonný GPU. Použitie týchto technológií je z veľkej časti nedosiahnuteľné pri bežne komerčne dostupných UAV, kvôli požiadavkám na hmotnosť, veľkosť a výkon. Riešením pri tejto metóde rozpoznávania objektu by mohlo byť použitie vzdialeného servera. [6]

1.6. Umelé neuronové siete ako nástroj pre detekciu a sledovanie objektu pomocou UAV

V súčasnosti je navrhnutých množstvo metód pre autonómnou detekciu sledovanie objektu v oblasti UAV. Jedným z najslubnejších riešení je využitie konvolučných neuronových sietí, ktorých princíp činnosti opisujeme v tretej kapitole. Konvolučné neuronové siete sú jedným s najslubnejších riešení, ktoré môžu v tejto oblasti efektívne využívať princípy tzv. hlbokého učenia (Deep Learning). Konvolučné neuronové siete sú jedným z typov neuronových sietí.

Konvolučné neuronové siete sú považované za veľmi účinný nástroj pri použití v týchto oblastiach. Kvôli veľkému potenciálu konvolučných neuronových sietí bolo navrhnutých množstvo druhov detektorov obrazu. Pri ich navrhovaní sa kladie dôraz na zlepšenie presnosti detekcie a výpočtovej komplexity ich metód s cieľom dosiahnuť požadovaný výpočtový výkon v reálnom čase.



Obrázok 4: Architektúra systému detekcie a sledovania objektu pomocou KNS. Zdroj: [7].

Na obrázku č. 4 vidíme základnú architektúru systému detekcie a sledovania objektu s využitím konvolučných neuronových sietí. UAV komunikuje s počítačom pomocou siete Wi-Fi. UAV odosiela do počítača snímky pri konštantnej frekvencii, ktorá je prednastavená operátorom UAV, obvykle 30 Hz. Tieto snímky sú prijaté a spracované počítačom prostredníctvom konvolučnej neuronovej siete určenej na detekciu objektov. Určí sa poloha

sledovaného objektu pre odhad nastavenia hodnoty klonenia, klopenia a zatáčania a zmeny výšky. Tieto parametre sú poslané naspäť do UAV a použité pre iniciáciu procesu sledovania. [7]

2. Umelá inteligencia

Využitie systémov pracujúcich na princípoch umelej inteligencie je kľúčové pri vývoji autonómnych systémov v oblasti UAV. Umelá inteligencia vznikla ako teoretický koncept už pri vývoji prvých počítačov, počas 40. rokov 20. storočia. Pri vývoji systémov umelej inteligencie je snaha napodobniť princíp činnosti ľudskej inteligencie. V súčasnosti je rozpracovaných množstvo konceptov takýchto systémov, no ako hlavný nedostatok sa ukazuje opäť potreba pre výrazné zvýšenie výpočtovej kapacity. Pre plnohodnotné využitie niektorých konceptov bude potrebný vývoj úplne nových druhov počítačovej architektúry

2.1. Definícia pojmu

V súčasnosti stále neexistuje ucelená, jednoduchá a všeobecne akceptovaná definícia pojmu umelá inteligencia. Americký autor A. Barr definuje umelú inteligenciu ako „štúdium vzťahov medzi výpočtom a vedomím“. S vývojom prvých počítačov vzišla otázka, či bude možné, aby výpočtové systémy mysleli a riešili problémy podobným spôsobom, ako ľudský mozog. Toto obdobie sa nazýva aj ako „temné časy umelej inteligencie“ (40. roky 20. storočia).

Jeden z prvých a do dnešnej doby najuniverzálnejších výskumov inteligencie strojov bol „Computing machine and intelligence“ (tzv. Turingov test), napísaný britským matematikom Alanom Turingom v roku 1950. Vytvorenie teoretického konceptu Turingovho stroja a jeho praktické skúsenosti viedli Turinga k položeniu si základných otázok konceptu umelej inteligencie. Snažil sa nájsť odpovede na nasledujúce otázky: Existuje myslenie bez skúseností? Existuje myseľ bez komunikácie? Existuje jazyk bez života? Existuje inteligencia bez života? Turing definoval inteligentné správanie počítača ako „schopnosť dosiahnuť výkon ako človek pri vykonávaní kognitívnych úloh“. [8]

2.2. Machine learning

T. Mitchell definuje machine learning (strojové učenie) ako „štúdium počítačových algoritmov, ktoré sa vylepšujú automaticky pomocou skúseností“. Machine learning môžeme širšie definovať ako výpočtové metódy, ktoré používajú predchádzajúce skúsenosti na zvýšenie výkonu, alebo vytváranie presných predpokladov. Predchádzajúce skúsenosti môžu byť napríklad tréningové dáta nahrané človekom. Machine learning pozostáva z vytvárania efektívnych a presných predikčných algoritmov. Keďže úspešnosť algoritmu učenia závisí od použitých dát, machine learning je do veľkej miery odvodený zo štatistiky a dátovej analýzy. Spôsoby učenia sú teda dátové metódy, ktoré spájajú základné metódy v informatike s metódami štatistiky a dátovej analýzy. [9]

Vo vzťahu k autonómnym UAV je potrebné, aby bol daný systém schopný poskytnúť používateľovi relevantné vysvetlenie, prečo vykonal danú akciu. Preto dochádza k vývoju tzv. vysvetliteľnej umelej inteligencie (XAI – explainable artificial intelligence). Vysvetlenie môže byť podané buď pre celý rozhodovací proces globálne, alebo explicitne pre každý krok. [10]

2.3. Umelé neurónové siete

Jednou s najvýznamnejších možností aplikácie systémov umelej inteligencie je vytvorenie umelých neurónových sietí. Umelé neurónové siete sú matematické modely, vychádzajúce zo štúdia biologických nervových systémov. Ich implementáciou je teda možné vytvoriť úplne nový druh výpočtového stroja. V budúcnosti môže byť ich použitie bežné a veľmi významné, a to na základe dvoch významných faktorov.

Prvým je, že umelé neurónové siete, vďaka simuláciám biologických neurónových sietí, tvoria úplne nový druh výpočtovej architektúry a procesu algoritmizácie. Umožňujú použitie jednoduchých výpočtových operácií na riešenie komplexných, nepresne definovaných matematických problémov.

Ďalším aspektom, čo odlišuje umelé neurálne siete od konvenčných výpočtových systémov, je ich vysoká paralelnosť. Konvenčné digitálne počítače sú sekvenčné prístroje. Ak vznikne porucha na jednom z tranzistorov, prípadne inej súčiastke, vedie to k poruche, alebo nefunkčnosti celého systému. Ľudský nervový systém stráca s časom množstvo neurónov, pričom nervová funkcia mozgu je zväčša nezasiahnutá.

Umelé neurónové siete je výhodné použiť pri riešení komplexných, nedostatočne zadaných problémov. Množstvo takýchto problémov nájdeme napríklad v oblasti medicíny, ekonomiky a bezpečnosti. Mnoho z týchto problémov je v súčasnosti predmetom intenzívneho záujmu. V súčasnosti sú používané vo vzťahu k UAV (na experimentálnej úrovni) pre účely detekcie a sledovania objektu [11].

3. Návrh a využitie umelej inteligencie v bezpilotných prostriedkoch

V tejto kapitole uvádzame prehľad, akým spôsobom by mohli byť UAV, využívajúce umelú inteligenciu, používané v budúcnosti, a v akých oblastiach. Prinášame pohľad na využitie v civilnej a vojenskej sfére. Popisujeme možnosti implementácie umelej inteligencie v 2 oblastiach – lety formácií autonómnych UAV a možnosti optimalizácie sietí UAV pomocou umelej inteligencie.

3.1. Potenciál širšieho využitia UAV s použitím systémov umelej inteligencie

Súčasný pokrok pri systémoch umelej inteligencie postupne umožní vývoj novej generácie autonómnych UAV, ktoré budú schopné autonómne vykonávať úlohy, bez potreby akéhokoľvek zásahu operátora. Hlavným dôvodom potreby implementácie systémov umelej inteligencie v oblasti UAV je nedostatok kvalifikovaného personálu schopného ich ovládania. Tento nedostatok bude oveľa badateľnejší už v blízkej budúcnosti. V súčasnosti existuje množstvo platforiem, kde môžu vývojári vytvoriť a simulovať fungovanie systémov umelej inteligencie vo virtuálnom realistickom prostredí. Mnohé krajiny už prispôbujú legislatívny rámec, aby bolo možné vykonávať lety autonómnych UAV.

Pri vývoji autonómnych UAV je najdôležitejším faktorom potreba transparentnosti rozhodovacieho procesu. Jej nedostatok má za následok vykonanie nelogických, alebo nepredvídateľných akcií, čo môže mať potenciálne veľmi nebezpečné následky. Vo vzťahu k transparentnosti sa vyvíja

koncept vysvetliteľnej umelej inteligencie, ktorý sme popísali v tretej kapitole.

Autonómne UAV však v súčasnosti stále nie sú používané vo veľkej miere. Môžeme to pripísať hlavne nedostatku výpočtovej kapacity. Množstvo skúšobných letov autonómnych UAV sa končí neúspechom, alebo iba čiastočným úspechom.

V blízkej budúcnosti môžeme očakávať použitie autonómnych, alebo čiastočne autonómnych UAV na komerčné účely, ako je napríklad donáška tovaru alebo pri poľnohospodárskych prácach. Množstvo veľkých spoločností má pripravené takéto technológie, a je pripravené ich využiť, akonáhle im to umožní legislatíva. Do roku 2050 môžeme očakávať široké využívanie autonómnych UAV. Pribudnú aj nové oblasti využitia, ako napríklad autonómne robotické lietajúce vozidlá, skupiny UAV čistiace oceány a vodné toky, plne autonómna výroba a distribúcia tovaru, alebo prieskum vzdialeného vesmíru pomocou autonómnych UAV. Ako pri zavádzaní každej novej technológie, aj tu vzniknú neželané vedľajšie efekty. Môžeme spomenúť hlavne obavy o ochranu súkromia, ktorú autonómne UAV určitým spôsobom výrazne narušia. Tiež vznikne príležitosť využiť autonómne UAV pri teroristickom útoku, alebo pri iných trestných činoch. Očakáva sa, že prínosy tejto technológie z dlhodobého hľadiska prevážia tieto riziká. [12]

3.2. Možnosti využitia umelej inteligencie v oblasti bezpilotných prostriedkov vo vojenskej sfére

Využívanie UAV ozbrojenými zložkami je v súčasnosti pomerne kontroverznou témou. Niektoré medzinárodné organizácie nesúhlasia s akýmkoľvek využívaním UAV, najmä autonómnych, v ozbrojených silách. Pri autonómnych systémoch, ktoré budú mať za úlohu zničenie protivníka, bude teda extrémne dôležitá transparentnosť rozhodovacieho procesu.

Je však nereálne predpokladať, že ozbrojené zložky jednotlivých štátov sa vzdajú vývoja autonómnych UAV. V súčasnosti sa prudko rozvíja komerčný trh s autonómnymi leteckými aj pozemnými systémami. Zakázanie autonómnych UAV nemusí byť pre ozbrojené zložky vôbec výhodné, najmä kvôli obave ohľadom asymetrického vývoja autonómnych UAV v civilnej a vojenskej sfére.

Môžeme konštatovať, že dnešné autonómne UAV sú automatizované a teda nie plne autonómne. Ako príklad môžeme uviesť americké UAV *Desert Hawk III* alebo *RQ-11 Raven*, ktoré slúžia na účely prieskumu. Oba spomenuté UAV disponujú schopnosťou autonómnej navigácie. Prechod na autonómne bezpilotné prostriedky prinesie armádam taktiež výrazné ekonomické benefity, a hlavne eliminuje riziko ohrozenia ľudského života. [13]

V dnešnej dobe sa využívajú UAV najmä pri bojoch proti horšie vyzbrojeným ozbrojeným zložkám alebo proti teroristickým organizáciám. Lepšie vyzbrojené ozbrojené zložky (USA, pravdepodobne aj Rusko a Čína) sú schopné vyrušiť LOS dátové spojenie s pozemnou stanicou alebo so satelitom pomocou pozemných, alebo vzdušných ELINT systémov. Pokiaľ nebudú k dispozícii UAV vybavené autonómnymi zbraňovými systémami, ktoré budú schopné rozoznať protivníka od nezúčastnených strán, môžu byť použité na prieskum vzdušného priestoru protivníka a potenciálne zvýšenie radarového dosahu, keďže dosah pozemného radaru je ovplyvnený reliéfom terénu. Pri súčasných technológiách nie je efektívne používať UAV priamo

pri bojových operáciách vo vyšších počtoch. Predpokladá sa, že autonómne UAV budú použité v súčinnosti s pozemným vybavením, aby sa zabránilo jeho ohrozeniu pri hľadaní protivníka. V súčasnosti však stále nevieme presne predpovedať, akým spôsobom ovplyvnia bojové operácie autonómne UAV, ktoré budú využívať umelú inteligenciu. [14]

3.3. Formácie autonómnych UAV

Formáciu môžeme definovať ako koordinovanú jednotku pozostávajúcu z viacerých UAV, ktoré spoločne plnia jednu alebo viac úloh. V súčasnosti sú autonómne lety formácií UAV vo veľkej miere experimentálnym konceptom, ktorý by mohol byť v budúcnosti využitý najmä pre komerčné účely. Jedným z príkladov, kde by mohli byť využité formácie UAV, je sledovanie vegetácie pri odvetviach agrikultúry. Lety UAV vo formáciách sa začali navrhovať už začiatkom 90. rokov 20. storočia, najmä pre vojenské účely. V súčasnosti sa tejto problematike venuje vyššia pozornosť. Avšak pri súčasných letoch formácií UAV je úroveň autonómie nízka alebo nulová.

V súčasnosti sú vo väčšine prípadov jednotlivé UAV ovládané individuálne pomocou pozemnej stanice. Počítače pozemnej stanice prijímajú a vysielajú telemetrické údaje do UAV. Pri súčasnej úrovni autonómie je toto jediný spôsob, ako efektívne ovládať formáciu UAV. Nevýhodou je, že pri poruche pozemnej stanice je ohrozená prevádzka celej formácie. Tento spôsob ovládania taktiež neumožňuje individuálne vydávanie príkazov pre jednotlivé UAV.

Komunikáciu a výmenu dát medzi jednotlivými UAV vo formácií bude v budúcnosti najvhodnejšie riešiť použitím decentralizovanej (tzv. ad-hoc) siete, ktorá pre svoju funkčnosť nevyžaduje použitie existujúcej sieťovej infraštruktúry, ako sú napríklad pozemné ovládacie stanice. Pre vyriešenie týchto nedostatkov navrhujú *Campion et al.* adaptáciu vyššie spomenutej ad-hoc siete s podporou pozemnej infraštruktúry. Pozemná infraštruktúra má zabezpečiť komunikáciu medzi jednotlivými UAV, kde sú telemetrické údaje každého UAV komunikované pomocou mobilnej siete. Rozdiel medzi súčasným stavom riešenia tejto problematiky je ten, že pozemná infraštruktúra nevykonáva žiadne rozhodnutia. Rozhodovací proces je distribuovaný medzi jednotlivé UAV, pričom pozemná infraštruktúra slúži iba na prenos dát. Je však potrebné dosiahnuť vyšší výpočtový výkon, aby bola zabezpečená koordinácia rozhodovacieho procesu založená na koordinácii telemetrických dát v reálnom čase. Tento druh architektúry prináša množstvo výhod. Vzdialenosť, pri ktorej dokážu UAV efektívne komunikovať, je v podstate nelimitovaná, vďaka širokému pokrytiu vyspelých krajín mobilnými 3G, alebo novšími, sieťami. Spoľahlivosť siete ako celku oproti súčasnému riešeniu architektúry je oveľa vyššia. Vysokú úroveň autonómie je teoreticky možné dosiahnuť pri tradičných architektúrach s použitím pozemnej infraštruktúry, majú však oveľa nižšiu úroveň spoľahlivosti. Môžeme očakávať, že s vývojom mobilných 5G (alebo novších) mobilných sietí bude tento, alebo podobný druh architektúry siete širšie používaný vo vzťahu k letom formácií UAV a umožní sa ich praktické použitie v mnohých oblastiach. [15]

3.4. Umelá inteligencia ako nástroj pre bezpečné a efektívne prepojenie UAV v mobilných sieťach

Môžeme očakávať, že UAV budú v budúcnosti vykonávať kľúčové funkcie v mnohých odvetviach. Preto je nevyhnutné zabezpečiť ich efektívne sieťové prepojenie pre získavanie a výmenu dát. Na rozdiel od súčasného riešenia konektivity UAV na krátke vzdialenosti (napríklad použitie technológií Bluetooth alebo Wi-Fi), použitie mobilných sietí umožňuje ovládanie UAV na vzdialenosť väčšiu, ako je vizuálny dohľad. Širšie využitie mobilných sietí taktiež umožní efektívne využívanie UAV v mnohých sférach, ako napríklad donášková služba, inteligentné dopravné systémy alebo streamovanie multimédií v reálnom čase. Každá so spomenutých oblastí má svoje špecifické komunikačné a bezpečnostné požiadavky, ktoré je potrebné v týchto oblastiach riešiť individuálne. Pre uvedenie príkladu, efektívne odovzdávanie kontroly a plánovanie trasy sú vo väčšej miere dôležité pri využití v donáškových službách, zatiaľ čo kooperatívna výmena dát je dôležitá v oblasti inteligentných dopravných systémoch, ako sú napríklad lety formácií UAV. Umelá inteligencia prináša v danej sieti možnosť predikovať svoje budúce stavy, čo umožňuje individuálne prispôbenie dynamiky danej siete.

Pri donáške tovaru pomocou autonómnych UAV použitie mobilných sietí umožní Bakalárska poskytovateľom služieb sledovať polohu UAV v reálnom čase a zaručiť bezpečné doručenie prepravovaného tovaru. Jedným z možných riešení tohto problému je použitie vysoko spoľahlivých druhov komunikácie s nízkym oneskorením (URLLC - Ultra-Reliable and Low-Latency Communications). Pre zníženie oneskorenia pri komunikácii s UAV je možné sa spoľahnúť na určitý stupeň samostatnosti v jednotlivých UAV, s využitím strojového učenia.

Pre potreby rôznych multimediálnych aplikácií musia UAV pripojené v mobilnej sieti generovať videá z dátových súborov získaných pomocou kamier a senzorov. Napríklad v aplikáciách virtuálnej reality s podporou UAV je schopné vygenerovať 360° videá. Tu môžu byť konvolučné neurónové siete použité, aby umožnili do vyrovnávacej pamäte ukladať najbežnejšie dátové súbory. Môžu extrahovať a uložiť spoločné vlastnosti dátových súborov, ktoré sú požadované rôznymi používateľmi v rôznom čase.

Pri integrovaných dopravných systémoch musia jednotlivé UAV prenášať všetky údaje zo senzorov, čo zákonite vedie k preťaženiu mobilnej siete pri nasadení UAV vo väčšom počte. Na zníženie potrebnej energie a šírky frekvenčného pásma môžu UAV integrovať svoje heterogénne údaje senzorov do jedného vektora. Pre ich integráciu je vhodné použiť obmedzený Boltzmannov stroj, čo je druh umelej neurónovej siete. Na úrovni UAV bude možné identifikovať neintuitívne prvky najmä z korelácií medzi senzormi, ktoré môžu priniesť presné odhady. Tento prístup umožňuje každému UAV lepšie vyhodnotenie okolitého prostredia. [16]

4. Záver

Môžeme konštatovať, že počas posledného desaťročia došlo k významnému pokroku v tejto oblasti, najmä vďaka širokému používaniu UAV v mnohých odvetviach a ich komerčnej dostupnosti. V tejto súvislosti sú už dnes bežné niektoré autonómne alebo poloaunómne systémy vo vzťahu k UAV, ako je napríklad autonómna navigácia po trati a možnosť automatického pristátia v prípade poruchy, protizrážkové

systemy a do istej miery aj detekcia a sledovanie objektov. Pri všetkých spomenutých oblastiach existuje viacero možností ich technického riešenia. V súčasnosti je však evidentný jeden problém, ktorý brzdí vývoj ďalších autonómnych systémov alebo vylepšovanie už existujúcich – a to je nedostatok výpočtovej kapacity. Môžeme však očakávať, že tento nedostatok bude v blízkej dobe eliminovaný, čo súvisí s rýchlym vývojom informačných a komunikačných technológií a návrhom nových druhov výpočtovej architektúry.

V oblasti UAV sú (a budú) kľúčové 2 systémy umelej inteligencie – strojové učenie a umelé neuronové siete.

Čo sa týka civilnej sféry, možnosti budúceho využitia sú prakticky neobmedzené. Mnoho koncepcií, ako napríklad Smart City, počíta s využitím autonómnych UAV. Ich širším použitím však vzniknú nové riziká a problémy, môžeme však očakávať, že nad nimi budú benefity týchto technológií budú významne prevažovať. Autonómne UAV nachádzajú svoje uplatnenie aj vo vojenskej sfére. Pre širšie využitie autonómnych UAV sa ukazujú byť kľúčové dve oblasti, ktorým je venovaná najväčšia pozornosť pri výskume a vývoji – lety autonómnych UAV vo formáciách a použitie umelej inteligencie ako nástroja pre zníženie zaťaženia sietí, v ktorých sú UAV pripojené. Keďže lety samostatných UAV môžu byť vo veľa prípadoch neefektívne, lety koordinovaných formácií autonómnych UAV umožní efektívne riadiť dopravné toky, prípadne budú môcť byť použité pri poľnohospodárskych prácach. Umelá inteligencia umožní výrazné zníženie zaťaženia mobilných sietí, keďže jednotlivé UAV budú môcť vykonávať svoje niektoré činnosti samostatne.

Potenciál využitia umelej inteligencie v odvetví UAV je takmer neobmedzený. Dosiachneme zníženie pracovného zaťaženia operátorov, optimalizáciu a vylepšenie mnohých koncepcií a využitie v mnohých iných oblastiach.

Referencie

- [1] COHEN, K. et al. 2011. Path planning of unmanned aerial vehicles in a dynamic environment. In *Infotech@Aerospace 2011*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2011. ISBN 978-1-60086-944-0, p. 1654.
- [2] AL SHEBABI, A.G – NEWMAN, B. 2012. Development of UAV trajectory management system based on fuzzy logic concepts. In *50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2012. P. 484.
- [3] BANG, H. – HAN, S-C. 2004. Proportional navigation-based optimal collision avoidance for uavs. In *2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents*. Daejeon: Korea Advanced Institute of Science and Technology, 2004. P. 13-15.
- [4] CHITHAPURAM, C. et al. 2013. Artificial Intelligence learning based on proportional navigation guidance. In *2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics*. Mysore, 2013. P. 1140-1145. ISBN 978-1-4673-6217-7.
- [5] MUJUMDAR, A. – Padhi, R. 2011. Evolving Philosophies on Autonomous Obstacle/Collision Avoidance of Unmanned Aerial Vehicles. In *Journal of Aerospace Computing, Information, and Communication*. ISSN 1542-9423, vol. 8, no. 2, p. 17 – 41.
- [6] LEE, J. et al. 2017. Real-Time, Cloud-based Object Detection for Unmanned Aerial Vehicles. In *2017 First IEEE International Conference on Robotic Computing*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. P. 36-43. ISBN 978-1-5090-6724-4.
- [7] ROHAN, A. et al. 2019. Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2. In *IEEE Access*. ISSN 2169-3536, 2019, vol. 7 p. 69575 – 69584.
- [8] NEGNEVITSKY, M. 2002. Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems. Harlow: Pearson Education Limited, 2002. 504 s. ISBN 978-1-4082-2574-5
- [9] MOHRI, M. et al. 2018. Foundations of Machine Learning. 2. vyd. Cambridge: MIT Press, 2018. 504 s. ISBN 978-0-2620-3940-6
- [10] DAM, H. K. et al. 2018. Explainable Software Analytics. In *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering New Ideas and Emerging Results*. New York: Association for Computing Machinery, 2018. ISBN 97-814-5035662-6, p. 53 – 56.
- [11] GRAUPE, D. 2013. Principles of Artificial Neural Networks. 2. vyd. Singapore: World Scientific Publishing, 2013. 382 s. ISBN 978-9-8145-2273-1
- [12] Drones, Artificial Intelligence, And The Future [online]. Dostupné na internete: <https://www.wevolver.com/article/drones-artificial-intelligence-and-the-future> (citované 2020-04-10)
- [13] AI in Military Drones and UAVs – Current Applications [online]. Dostupné na internete: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/ai-drones-and-uavs-in-the-militarycurrent-applications/> (citované 2020-04-12)
- [14] Are combat drones changing warfare? And how to stop them? [online]. Dostupné na internete: https://www.youtube.com/watch?v=ahKzbnqaTMg&ab_channel=Binkov%27sBattleground (citované 2020-04-14)
- [15] CAMPION, M. et al. 2018. A Review and Future Directions of UAV Swarm Communication Architectures. In *2018 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*. Budapest: European Institute of Innovation and Technology, 2018, p. 903-908, ISBN 978-1-5386-5398-2.
- [16] CHALLITA, U. et al. 2019. Machine Learning for Wireless Connectivity and Security of Cellular-Connected UAVs. In *IEEE Wireless Communications*. ISSN 1558-0687, vol. 26, no. 1, p. 28 – 35.

STREAMLINING PILOT TRAINING WITH NEW SIMULATION TECHNOLOGIES

ZEFEKTÍVNE NIE PILOTNÉHO VÝCVIKU POMOCOU NOVÝCH SIMULAČNÝCH TECHNOLOGIÍ

Filip Buránsky
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
buransky2@stud.uniza.sk

Iveta Škvareková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
iveta.skvarekova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of the paper is based on a theoretical analysis to define several new simulation technologies that serve to streamline pilot training. The result was an evaluation of the effectiveness of individual simulation technologies. Part of the paper were also developed partial goals, which conditioned the fulfillment of the main goal of the final work. The theoretical part is devoted to the analysis of current trends in air transport, the characteristics of pilot training and the use of advanced technologies in the aviation industry, the incorporation of virtual and augmented reality to improve and streamline training. Furthermore, the comparison of individual intelligent glasses based on their technical parameters and subsequent evaluation of the most suitable glasses in terms of efficiency and usability in training is investigated. The result of the work is the selection of the most suitable smart glasses due to several advantages in terms of efficiency, increased concentration and simplification of pilot training.

Keywords

aviation training, augmented reality, AR glasses

1. Úvod

V práci sme sa zamerali na využitie a možnosti zefektívnenia progresívnych technológií v rámci leteckého výcviku. Dôvodom výberu bolo vyhodnotenie miery efektívnosti technológií s využitím rozšírenej reality a zakomponovanie daných zariadení do výcviku pilotov za účelom zjednodušenia, zefektívnenia a prispôbeniu sa procesov prebiehajúcich počas výučby. Na základe analýzy jednotlivých technických parametrov sme porovnali jednotlivé druhy inteligentných okuliarov s využitím AR technológií rozšírenej reality. Hlavným cieľom bolo na základe teoretickej analýzy vymedzenie viacerých nových simulačných technológií, ktoré slúžia na zefektívnenie pilotného výcviku. Výsledkom bolo vzájomná komparácia a vyhodnotenie efektivity jednotlivých simulačných technológií.

2. Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

Letecká doprava vo všeobecnosti tvorí dôležitý predpoklad pre dosahovanie hospodárskeho rastu a rozvoja. Uľahčuje integráciu do globálneho hospodárstva a poskytuje zásadné prepojenie v národnom, regionálnom aj medzinárodnom meradle. Pomáha vytvárať obchodné a pracovné príležitosti a rovnako podporovať cestovný ruch. Paralelne s globalizačným procesom vo svete sa najviac stala letecká doprava dôležitým, spoľahlivým a najrýchlejším spôsobom prepravy medzi krajinami a v rámci nich.

V minulom roku bol vo viacerých priemyselných odvetviach zaznamenaný nárast technologických a dizajnových prvkov, čo výrazným spôsobom urýchlila aj pandemická situácia ohľadne koronavírusu COVID-19 [1]. S vývojom technológií, rozvojom informačno-komunikačných technológií (IKT) a vedeckým

pokrokom bezprostredne súvisí nástup štvrtej priemyselnej revolúcie Industry 4.0. S pojmami ako sú napríklad virtuálna realita, digitalizácia, umelá inteligencia, robotizácia, automatizácia či internet vecí (Internet of Things) sa stretávame nielen v rámci viacerých činností v daných spoločnostiach, ale aj v bežnom [2].

Integráciu prvkov Industry 4.0, akými sú napríklad inovatívne technologické riešenia, automatizácia, digitalizácia či využívanie virtuálnej reality, môžeme vidieť v každej z oblastí leteckého priemyslu. Ako uvádza portál Future Travel Experience množstvo leteckých spoločností a letísk urýchlene prijalo za minulý rok množstvo bezkontaktných riešení. Jedným z príkladov je spoločnosť Etihad, ktorá v apríli ako prvá letecká spoločnosť vyskúšala nové bezkontaktné samoobslužné technológie [1]. Využívanie nových technológií tiež ponúka príležitosti na zlepšovanie kvality služieb cestujúcich v iných oblastiach, pričom štandardom sa majú stať vlastnosti produktu, ako je napríklad diaľkové a samoobslužné odbavenie, štítky s elektronickými taškami, elektronické nástupné brány či samoobslužné prevody [3].

Vo všeobecnosti zohrávajú inovácie v odvetví leteckej dopravy ústrednú úlohu. Sú impulzom pre realizáciu nových nápadov, podieľajú sa na zlepšovaní konkurencieschopnosti a rovnako predstavujú vznik nových trhových príležitostí. Nové technológie majú za cieľ posilniť bezpečnosť a výkonnosť letectva v záujme bezproblémového cestovania pre všetkých [4].

2.1. Výcvik pilotov

Letecká doprava má teda v súčasnosti za cieľ znižovať podiel leteckých nehôd v dôsledku zlyhania ľudského faktora. Kvalitný výcvik pilotov predstavuje v letectve dôležitú súčasť zvyšovania bezpečnosti. Vďaka postupnému technologickému rozvoju v letectve a pozemnej infraštruktúry sa letecká doprava stala nezávislou od neustále sa meniacich meteorologických podmienok [5]. V dôsledku technologického rozvoja sa už mnoho rokov za neodmysliteľnú súčasť leteckého výcviku považuje používanie rôznych typov simulátorov [6].

Letová simulácia je v súčasnosti rozhodujúca pre činnosť civilných aj vojenských leteckých organizácií. Veľká časť pilotného výcviku, ktorý sa predtým vykonával v lietadlách, sa v dnešnej dobe vykonáva v letových simulátoroch. Dôvodom, prečo je použitie simulačnej techniky pre výcvik pilotov efektívnejšie je hneď niekoľko: prispieva k zvýšeniu bezpečnosti letectva, k vyšetrovaniu leteckých nehôd, štúdiám konštrukcie lietadiel či simulácii letovej prevádzky [7]. Počas výcviku je úlohou letového simulátora umelo napodobňovať let lietadla v rôznych prostrediach a podmienkach [8].

V letectve je používanie simulácií na výcvikové účely dlhoročnou praxou. Moderná letecká simulácia sa v skutočnosti stala takmer nepostrádateľnou súčasťou učebných osnov leteckého výcviku. Avšak ani rôzne veľkoplšné simulátory s úplným využitím technologických výhod nezaručujú úspešnosť výcviku. Mala by sa nájsť rovnováha medzi využívaním rôznych simulačných techník a zručnosťami budúceho pilota [5].

V dôsledku technologického rozvoja a súčasných prvkov štvrtej priemyselnej revolúcie Industry 4.0, sa v rámci pilotného výcviku objavujú aj nové simulačné technológie, ktoré celý proces výcviku zefektívňujú.

2.2. Progresívne technológie pri výcviku pilotov

Technológia ako taká mení spôsob, akým žijeme, akým pracujeme, ako sa hráme. Nie je preto prekvapením, že svojím spôsobom mení a formuje aj charakter tréningu. Príchod internetu a digitalizácie mení takmer každý aspekt nášho každodenného života. Internet prináša zmenu paradigmy v spôsobe učenia sa ľudí a digitalizácia, vrátane virtuálnej reality a umelej inteligencie prináša rôzne inovácie v oblasti technológií [9]. Od adaptácie rôznych digitálnych trendov je možné potenciálne zvýšiť efektívnosť, pričom digitalizácia je dôležitá aj pre komerčnú oblasť leteckého priemyslu [6].

Automatizácia systémov a procesov v súčasnom leteckom priemysle spôsobila radikálnu zmenu v lietaní tým, že niektoré úlohy zdokonalila a, naopak, odstránila také funkcie a činnosti, ktoré predtým zastávali iní členovia posádky. Zavedením automatizácie sa postupne zmenila aj úloha pilota v kabíne – z funkcie riadenia sa jeho činnosť zmenila na funkciu monitoringu. V dôsledku veľkého množstva dát, ktoré piloti počas leteckého výcviku dostávajú je dôležité, aby sa naučili tieto informácie spracovať správnymi technikami skenovania a rozložiť pozornosť počas celého výcviku. [10]

Pod pojmom rozšírená realita (AR = Augmented Reality) teda rozumieme jedinečnú kvalitu poskytovania priameho spojenia medzi fyzickou realitou a virtuálnymi informáciami o tejto realite. Svet sa potom stáva používateľským rozhraním a vedie k známemu vyhláseniu. Môžeme teda povedať, že poskytuje

jednoduché a okamžité užívateľské rozhranie s elektronicky vylepšeným fyzickým svetom. [11]

Technológia rozšírenej reality (AR) sa stala veľmi populárnou vo viacerých odvetviach hlavne čo sa týka zábavy, letectva, obchodu aj zdravotníctva. V letectve sa rozšírená realita považuje za jednu z nevyhnutných inovácií na zabezpečenie bezpečnosti procesov. Aj tie najmenšie rozhodnutia, akými je napríklad kontrola počasia, čítanie ovládacích panelov, hodnotenie údržby lietadla, si v leteckom priemysle vyžadujú veľké úsilie. A práve tu sa AR stáva dokonalým riešením. [12]

V súvislosti s rozšírenou realitou sa v rámci zefektívnenia leteckého výcviku veľmi často používajú inteligentné okuliare s AR technológiou. Princíp zostáva rovnaký a to, že do reálneho sveta sa nám prostredníctvom nasadených AR okuliarov premietajú rôzne virtuálne informácie, čo pilotom umožňuje plne sa venovať riadeniu lietadla bez toho, aby sa museli pozerieť na palubnú dosku. Okuliare AR taktiež slúžia na podporu rozhodnutia pilota v neobvyklých situáciách. To by malo minimalizovať čas do prijatia rozhodnutia a vykonania súvisiacich následných opatrení. [13]

Základnými úlohami každého pilota by v zásade mali byť tri veci a to: letieť, navigovať a komunikovať. Na zníženie pracovnej záťaže by sa zariadenia AR mohli používať ako náhrada za úlohy druhého člena posádky. Dostupné digitálne informácie o relevantných údajoch o lietadle je možné získať pomocou okuliarov AR technológiou. Prostredníctvom AR okuliarov je možné všetky relevantné údaje pre bezpečnú a riadenú letovú prevádzku premietiť a zobrazovať v priamom zornom poli pilota. [13]

Používanie okuliarov s technológiou rozšírenej reality poskytuje rozsiahlu sadu funkcií, najmä pre obchodný a priemyselný sektor. Vďaka tomu sú okuliare AR hlavným hnacím motorom pre budúcnosť digitálnej práce [14].

V súvislosti s inováciami sa v rámci leteckého priemyslu stretávame aj s pojmom virtuálna realita. Na základe poznatkov uvedených v predošlej podkapitole by sme mohli povedať, že rozšírená realita sa teda týka technológií, v ktorej sú virtuálne objekty digitálne umiestnené do skutočného sveta. Základným rozdielom medzi rozšírenou (AR) a virtuálnou realitou (VR) je to, že technológie rozšírenej reality daným spôsobom vylepšujú reálne prostredie. [15]

Virtuálna realita je novou technológiou, ktorá sa neustále vyvíja a zahŕňa v sebe softvér poskytujúci ilustrácie a zvuk, ktorý je podobný tomu v reálnom svete. Virtuálna realita dáva teda prednosť vizuálnemu vnímaniu každého používateľa. [16]

Výcvik pilotov si vyžaduje určitú dotykovú interakciu s vybavením lietadla, aby si piloti mohli zvyknúť. Musia taktiež zažiť skutočné emócie z letu alebo z rôznych nepredvídateľ

ných ťažkých situácií, aby sa naučili bojovať proti stresu. Virtuálna realita si teda nachádza svoje využitie predovšetkým pri výcviku posádok v leteckom priemysle. Pohlcujúca technológia akou virtuálna realita je, môže byť užitočná jednak pre letecké spoločnosti a jednak pre výrobcov lietadiel. [17]

Zvyšovanie bezpečnosti v letectve priamoúmerne súvisí so zvyšovaním kvality a efektívnosti leteckého výcviku pilotov. Technológia sledovania očí Eye track predstavuje sľubnú metódu, ktorá môže pomôcť zamerať sa na najkritickejšie fázy

letu nielen pilotom, ale aj inštruktorom počas leteckého výcviku. [12]

So systémom sledovania očí nainštalovaným vo výcvikovom simulátore môže inštruktor ľahko určiť, ku ktorému bodu kokpitu pilot smeruje svoj pohľad. Tieto údaje možno tiež uložiť, aby inštruktor mohol následne skontrolovať výkon pilota. Sledovaním pohľadu sa inštruktorovi poskytuje dokumentácia k tomu, aby bol výcvik presnejší a zároveň efektívnejší. [18]

Od nástupu motorového letu prebiehali nepretržite vylepšenia leteckej technológie, ktorých výsledkom je rýchlejšia, spoľahlivejšia a bezpečnejšia letecká doprava. V súvislosti s rozvojom techniky sa v civilnej leteckej preprave objavuje technológia Head up displejov (HUD), ktoré taktiež napomáhajú pri skvalitňovaní a zefektívnení leteckého výcviku.. Head-up displeje umožňujú pilotom vidieť kľúčové letové prístroje pri sledovaní vonkajšieho sveta. Odstraňujú potrebu pozeráť sa na letové prístroje dole, čo vedie k zvýšeniu situačného povedomia a väčšej presnosti riadenia lietadla. [19]

3. Cieľ práce, metodika práce a metódy skúmania

Hlavným cieľom práce bolo na základe teoretickej analýzy vymedzenie viacerých druhov inteligentných okuliarov s technológiou rozšírenej reality ako nových simulačných technológií na zefektívnenie výcviku pilotov. Výsledkom bola vzájomná komparácia jednotlivých vybraných druhov okuliarov s AR technológiou a zhodnotenie ich efektivity.

Objektom skúmania boli viaceré druhy inteligentných okuliarov s využitím technológie rozšírenej reality (AR) od rôznych výrobcov. Na vzájomné porovnanie a následné zhodnotenie efektivity pre letecký výcvik sme si zvolili nasledovné druhy inteligentných okuliarov: Dream Glass 4K, Vuzix M400, Vuzix M4000, Epson Moverio BT40 a Hololens. Výberovú vzorku sme zvolili na základe preferencií a využívania v praxi.

4. Výsledky práce

Trh civilného letectva je vysoko konkurenčný a preto spoločnosti hľadajú spôsoby, ako zvýšiť svoju produktivitu a zoptimalizovať výrobný proces. Konštrukcia lietadla zahŕňa rôzne zložité výrobné procesy, ktoré vyžadujú vysokú dávku koncentrácie, znalostí a presnosti. Preto chyby, ktorých následkom sú enormné straty spoločností, nie sú prípustné.

Rozšírená realita predstavuje v letectve ďalšiu možnosť, ktorou je nositeľné zariadenie AR, ktoré dokáže zvýšiť efektívnu montáž lietadiel a spoločnosť Airbus je jednou z prvých, ktorá túto technológiu vyskúšala. Ako už bolo spomenuté na začiatku, proces výroby lietadiel je zložitý a ak sa dá niečo zjednodušiť, je potrebné využiť túto veľkú príležitosť. [20]

Spoločnosť Airbus s vývojármi rozšírenej reality spolupracovala na vytvorení aplikácie AR pre inteligentné okuliare Vuzix AR, pre zjednodušenie procesu montáže sedadiel v kabíne. Z tohto nápadu sa stalo funkčné riešenie za necelý mesiac. Pracovník je schopný umiestniť značkovače sedadiel až šesťkrát rýchlejšie pomocou prekrytých kontextových pokynov a nezanechá žiadny priestor pre chyby. Spoločnosť Airbus plánuje túto technológiu AR implementovať do ďalších liniek montáže lietadiel, aby ešte viac zvýšila efektívnu. [20]

Vo výskumnej časti práce sme v rámci skúmania nových simulačných technológií ako prvkov na zvýšenie efektivity výcviku pilotov skúmali jednotlivé typy inteligentných okuliarov s AR technológiou. V nasledujúcich podkapitolách sme uviedli charakteristiku viacerých druhov inteligentných okuliarov od rôznych typov výrobcov.

4.1. Inteligentné okuliare Dream Glass 4K

Okuliare s AR technológiou Dream glass 4K majú zorný uhol 90 stupňov a sú schopné do reálneho priestoru premietiť obsah v ekvivalente obrazovky s uhlopriečkou 5,08 metra. Táto obrazovka môže zobrazovať takmer čokoľvek, od pracovnej plochy počítača, cez film až po leteckú simuláciu. [21]

AR okuliare DreamGlass 4K sa môžu pripojiť k viacerým zariadeniam (smartfón, herná konzola, notebook) prostredníctvom HDMI konektora alebo USB-C portu. Okuliare sú vybavené klasickým 3,5 mm konektorom pre pripojenie slúchadiel. Výhodou je, že toto zariadenie je ľahké, váži len 185 gramov a funguje dobre aj v prípade, že používateľ nosí dioptrické okuliare. Integrovaná batéria má výdrž približne päť hodín na jedno nabitie. [21]



Obrázok 1: Vizuál okuliarov Dream Glass 4K. Zdroj: [21].

4.2. Inteligentné okuliare Vuzix M400

Vuzix M400 je dnes štandardom v priemysle inteligentných okuliarov. Flexibilná kombinácia metód interakcie, ako sú hlasové príkazy, gestá touchpadu a ovládacie tlačidlá. V zariadení sú implementované vysokovýkonné fotoaparáty a poskytujú najlepšie dostupné videostreamy zabalené v robustnom funkčnom dizajne, ktorý umožňuje prácu v skutočných pracovných prostrediach. [22]

Inteligentné okuliare Vuzix s procesorom Qualcomm Snapdragon XR1, ktorý je určený pre inteligentné okuliare a AR aplikácie doručí najvyššiu úroveň výkonnosti v priemysle. Do obchodnej aplikácie sú konštantne dodávané nové aplikácie, ktoré zvyšujú efektívnu, presnosť a zručnosť okuliarov. [22]



Obrázok 2: Vizuál okuliarov Vuzix M400. Zdroj: [22].

4.3. Inteligentné okuliare Vuzix M4000

Model okuliarov Vuzix M4000 obsahuje odolnú lítium-polymérovú batériu, ktorá je vyrobená tak, aby umožnila dlhú prácu. Vuzix je jediné riešenie na trhu, ktoré umožňuje vypnúť batériu za chodu bez nutnosti vypínania. Obsahuje odolný prehliadač s hmotnosťou 3,5 oz. Dôležitým komponentom je ultraľahký priehľadný vlnovod s rozsiahlym zorným poľom 28 stupňov. Detail s fotoaparátom PDAF s uhlopriečkou 12,8 MP a streamovanie videa v rozlíšení 4K 30 snímok za sekundu. [23]

Štartovacia súprava M4000 pridáva všetko príslušenstvo pre uchytenie hlavy a powerbanku s predĺženým použitím a vďaka flexibilným možnostiam montáže je kompatibilný s takmer všetkými čiapkami, prilbami, štítmí na tvár alebo okuliarmi. [23]



Obrázok 3: Vizuál okuliarov Vuzix M4000. Zdroj: [23].

4.4. Inteligentné okuliare Epson Moverio BT40

Okuliare s AR technológiou Epson Moverio BT40 sa cez USB-C pripájajú ku kompatibilným zariadeniam (smartfóny, tablety, notebooky) a je možné ich využívať ako sekundárny displej, podobne ako externé monitory k notebookom. Moverio BT-40 prinášajú výhodu veľkého kvalitného displeja, ktorý si zobrazí len daný používateľ, ide teda niečo podobné ako slúchadlá na počúvanie hudby bez toho, aby sa vyrušovalo okolie. Sú vhodné pre používateľov mimo kancelárie a ďalších verejných priestorov, kde má ochrana súkromia a pohodlia svoje miesto. [24]

Okuliare Moverio BT-40 taktiež poskytujú virtuálnu pracovnú stanicu, ktorá sa v čase pandémie skvele hodí aj pre home-office. Používatelia sú schopní naplno užiť komfort vďaka lepšiemu dizajnu, dokonca ani dioptrické okuliare nepredstavujú prekážku. Moverio BT-40S ponúkajú možnosť inteligentnej riadiacej jednotky s OS Android pre vloženie vlastného softvéru. Riadiaca jednotka Moverio je kompatibilná s Google Play a prispôbená pre celý rad komerčných aplikácií. Okuliare disponujú integrovanou dotykovou obrazovkou, rozširiteľnou pamäťou do 2 TB a stupňom krytia IPX2. Riadiaca jednotka ponúka pripojenie Wi-Fi, Bluetooth, GPS, kompas, akcelerometer, gyroskop, kameru, blesk, mikrofón a audio konektor. Batéria zvládne 5 hodín prehrávania videa. [24]

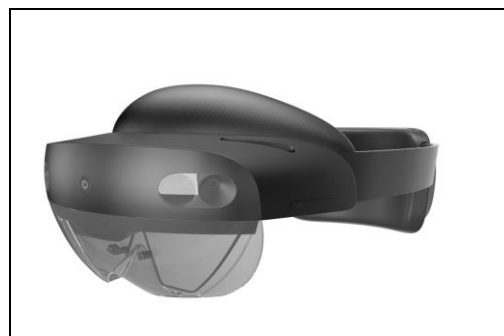


Obrázok 4: Vizuál okuliarov Epson Moverio BT40. Zdroj: [24].

4.5. Inteligentné okuliare HoloLens

Microsoft HoloLens, vyvíjaný ako Project Barabooje sú inteligentné okuliare s rozšírenou realitou vyvinuté a vyrábané spoločnosťou Microsoft. HoloLens bol prvý náhlavný displej s platformou Windows Mixed Reality pod operačným systémom Windows 10. HoloLens je zobrazovacia jednotka pripevnená k hlave, spojená s nastaviteľnou čelenkou, ktorá umožňuje okuliare nakláňať vo vertikálnom smere a taktiež v smere horizontálnom. [25]

Predná časť náhlavnej súpravy obsahuje značný počet senzorov so súvisiacim hardvérom vrátane kamier. Pomocou pokročilých objektívov sú obrazy premietané a vyobrazené v spodnej polovici. Je nutné, aby boli okuliare HoloLens kalibrované na interpupilárnu vzdialenosť. Pozdĺž spodných okrajov po stranách sa nachádzajú malé, červené, 3D zvukové reproduktory s redukciou šumu pre, ktoré konkurujú prémiovým zvukovým systémom. Zvuk, ktorý je týmito reproduktormi produkovaný, dokáže simulovať priestorové efekty, ktoré umožňujú vnímať a lokalizovať zvuk pochádzajúci z virtuálneho bodu alebo miesta. [25]



Obrázok 5: Vizuál okuliarov HoloLens. Zdroj [25].

Na hornom okraji okuliarov sa nachádzajú tlačidlá s odlišným tvarom- jedno konkávne, jedno konvexné, aby ich bol užívateľ schopný odlíšiť dotykom. Na konci ľavého ramena je tlačidlo napájania a rad piatich LED svetiel, slúžiacich na indikáciu stavu systému, takisto stavu batérie a nastavenia napájacieho či pohotovostného režimu. Pozdĺž spodného okraja je umiestnený vstup USB 2.0 a 3,5 mm zvukový konektor. [25]

4.6. Technické parametre vybraných typov inteligentných okuliarov s AR technológiou

Na základe informácií, ktoré sme uviedli v predchádzajúcich podkapitolách, sme kvôli lepšej prehľadnosti vybrané typy inteligentných okuliarov od rôznych výrobcov a ich technické parametre spracovali do prehľadnej tabuľky (Tabuľka 1) zobrazenej nižšie. Tabuľka nám neskôr poslúžila na vyhodnotenie a vzájomné porovnanie jednotlivých zariadení a zhodnotenie efektívnosti ich použitia pre výcvik pilotov.

Nižšie zobrazená tabuľka (Tabuľka 1) sa teda skladá z piatich rôznych typov inteligentných okuliarov s AR technológiou, pričom ku každej z nich sme vypísali aj ich výrobcu. Ďalej v tabuľke sme uviedli sedem technických parametrov, ktoré sme v diskusnej časti okomentovali.

Tabuľka 1: Technické parametre vybraných typov inteligentných okuliarov s AR technológiou. Zdroj: Autori.

	Dream Glass 4K	Vuzix M400	Vuzix M4000	Epson Moverio BT40	HoloLens
Výrobca	Dream Glass	Vuzix	Vuzix	Epson	Microsoft
Technické parametre					
Typ displeja	4K UHD	Monokulárny LED	Monokulárny LED	OLED	Stereoskopický priehľadný
Platforma	Android	Android	Android		Microsoft
Výdrž batérie	5 hodín	2 až 8 hodín	4 až 12 hodín	2 až 5 hodín	2,5 až 5,5 hodín
Zorné pole (v stupňoch)	90°	19°	19°	34°	35°
Senzory	Kompas, gyroskop, akcelerometer	Kompas, gyroskop, akcelerometer	Kompas, gyroskop, akcelerometer	Kompas, gyroskop, akcelerometer	Kompas, gyroskop, akcelerometer
Rozlíšenie	3840x1080	640x360	854x480	1920x1080 (30Hz)	1280x720
Konektivita	Bluetooth, WiFi, GPS	Bluetooth, WiFi, GPS	Bluetooth, WiFi, GPS	Bluetooth, WiFi	Bluetooth, WiFi

5. Diskusia

V predošlej kapitole sme popisali jednotlivé typy inteligentných okuliarov s AR technológiou, ktoré slúžia na zefektívnenie leteckého výcviku pilotov. V závere kapitoly sme kvôli lepšiemu prehľadu zostrojili tabuľku (Tabuľka 1), kde sme uviedli vybrané typy inteligentných okuliarov a ich jednotlivé technické špecifikácie. Do úvahy sme brali viaceré kritériá, ktoré nám pri porovnaní pomohli vybrať najvhodnejšie okuliare použiteľné pri výcviku pilotov.

V rámci nami vybranej vzorky inteligentných okuliarov je najčastejšie využívaným typom displeja monokulárny LED displej, ktorý bol ale časom nahradený za efektívnejší, ostrejší a presnejší displej OLED 4K, ktorý majú vstavaný okuliare Dream glass 4K. Okuliare sú schopné snímať 90 stupňový uhol, čo predstavuje značnú výhodu oproti konkurenčným značkám inteligentných okuliarov, keďže pilotovi vo výcviku umožňujú poskytnúť širokospektrálny pohľad a tým pádom zrozumiteľnejšie vyčítanie informácií či pokynov. Medzi ďalšie výhody oproti konkurenčným značkám patrí jednoznačne možnosť ponechať si dioptrické okuliare počas využívania inteligentných okuliarov Dream glass 4K, keďže poskytujú dostatočne veľké miesto pre ich uskladnenie. Obsahujú senzory ako kompas, gyroskop a akcelerometer, ktoré sú samozrejmosťou pri danom type progresívnych technológií. Výdrž batérie po dobu piatich hodín prakticky umožňuje využívať zariadenie počas dlhšie trvajúcej výučby. Rozlíšenie 3840x1080 pixelov rozhodne okuliare Dream glass 4K posúva medzi prvé priečky vo výbere daného typu technológií s využitím rozšírenej reality.

Okuliare Vuzix 400 využívajú technológiu Monokulárneho LED displeja, ktorý umožňuje výber preferovanej strany tváre popri využívaní. Výhoda monokulárneho LED displeja spočíva v nízkej hmotnosti zariadenia a tým pádom je zariadenie možné používať niekoľko hodín po sebe bez pocitu ťažkej prídavnej hmotnosti. Na základe porovnania v tabuľke nachádzajúcej sa v predchádzajúcej kapitole sme zistili, že displej s rozlíšením 640x360 pixelov je pri využívaní základných funkcií počas výcvikového procesu ako sú napríklad senzory s informáciami

o rýchlosti, výške, či základnej navigácii dostatočne zreteľný a postačujúci pre využitie vo výcviku pilotov. Konektivita pomocou funkcií ako sú Bluetooth, WiFi či GPS, rozširuje možnosti prepojenia zariadenia s viacerými prídavnými technológiami, mobilnými zariadeniami, či tabletmi.

Pri porovnaní modelu Vuzix M400 s technicky vyspelejším zariadením rovnakej značky, avšak rozdielneho typu Vuzix M4000, sme dospeli k záveru, že zariadenie Vuzix M4000 je preferované hlavne kvôli dlhšej výdrži batérie a to až o 4 hodiny a umožní počas výcviku využívať zariadenie bez nutnosti nabíjania po krátkej dobe. Vyššie rozlíšenie displeja a to 854x480 pixelov poskytuje podobný pohľad a zážitok ako displej s menším počtom pixelov pri zariadení Vuzix M400. Zorné pole pri oboch zariadeniach predstavuje hodnotu 19 stupňov, čo pri porovnaní so zariadením Dream glass 4K je viac ako štvornásobne menšia hodnota, čo však neovplyvní zážitok zo zariadenia, nakoľko potrebné základné informácie sú pred pilotom zobrazené neustále a je schopný spozorovať ich aj v zornom poli o hodnote 19 stupňov. Tri doposiaľ opísané zariadenia fungujú na platforme Android, ktorá spĺňa všetky potrebné kritéria pre potrebu konektivity, rozšírenia prepojenia s viacerými zariadeniami, či využívania aplikácií spätých s danou platformou.

Ďalším zariadením, ktoré sme zahrnuli do tabuľky (Tabuľka 1) z predchádzajúcej kapitoly a je konkurencieschopné voči ostatným porovnávaným zariadeniam sú okuliare s rozšírenou realitou Epson Moverio BT40. Displej s využitím technológie OLED, ktorá predstavuje značnú inováciu v prostredí so zariadeniami s využitím rozšírenej reality a umožňuje väčší odstup v kontrastnom pomere a podstatne väčší uhol viditeľnosti obrazu oproti displeju s technológiou LED. Využitie v rozsahu 2 až 5 hodín je pomerne dostačujúce pre využitie vo výcviku pilotov. Možnosť pripojenia zariadenia ku kompatibilnému smartfónu, tabletu alebo počítaču pomocou rozhrania USB-C a nasledovným získaním širokouhlého obrazu s rozlíšením Full HD 1080p, ktorý je podobný externému monitoru alebo projektoru poskytuje osobný kinematografický zážitok. Zorné pole s hodnotou 34 stupňov je postačujúce pre zaradenie daných okuliarov do výcviku pilotov. Konektivita pomocou funkcií Bluetooth a WiFi rovnako ako u porovnávaných konkurentov poskytuje pomerne dostatočné prepojenie s prídavnými technológiami a zariadeniami.

Zariadenie HoloLens vyvíjané spoločnosťou Microsoft plní funkciu plnohodnotných okuliarov s využitím rozšírenej reality nakoľko stereoskopický displej poskytuje binokulárnu paralaxu. Displej s rozlíšením 1280x720 pixelov poskytuje dostatočný vizuálny zážitok a bezchybné vyčítanie údajov. Senzory ako kompas, gyroskop a taktiež akcelerometer sú obsiahnuté aj pri tomto zariadení a tak bolo možné zaradiť ho do porovnania s ostatnými zariadeniami. Výdrž batérie s porovnateľnou hodnotou ako pri ostatných okuliaroch 2 až 5 hodín predstavuje takisto možnosť využívania daného zariadenia po dobu časovo náročnejšieho výcviku.

Na základe analýzy technických parametrov jednotlivých typov inteligentných okuliarov sme dospeli k záveru, že najvhodnejším typom okuliarov, ktoré výcvik pilotov dokážu najviac zefektívniť sú okuliare značky Dream Glass 4K. Je to z dôvodu najkvalitnejšieho rozlíšenia displeja o hodnote 3840x1080 pixelov a mnohonásobne väčšieho zorného poľa oproti ostatným spomenutým konkurenčným zariadeniam.

Na základe vyššie uvedených informácií porovnaných zariadení môžeme konštatovať, že efektívnosť využitia okuliarov pri leteckom výcviku sa prejavila v skrátenej dobe výcviku a zvýšením koncentrácie pilotov, keďže pri využití okuliarov nie je potrebná neustála kontrola hodnôt, zobrazených na displejoch nachádzajúcich sa pod zorným uhlom pilota vo výcviku. Potrebné informácie sú zobrazené priamo pred ním a nie je nútený znižovať svoju koncentráciu pri nevhodných meteorologických podmienkach, núdzových situáciách, či nepredpokladaných problémoch.

6. Záver

Na základe výskumu a analýzy technických parametrov sme dospeli k záveru, že inteligentné okuliare od firmy Dream Glass sú z nášho pohľadu najefektívnejšie v zakomponovaní do leteckého výcviku z viacerých hľadísk. Jednak vynikali svojou kvalitou v rozlíšení displeja o hodnote 3480x1080 pixelov a jednak mnohonásobne väčším zorným poľom v porovnaní s ostatnými inteligentnými okuliarmi s AR technológiou.

Najkvalitnejšie rozlíšenie vo forme 4K zohráva veľkú rolu pri všímavosti a vnímaní kontrolných hodnôt a potrebných údajov. Zorné pole je pre prehľadnosť dôležitým aspektom vnímania bodov a priestoru. Inteligentné okuliare predstavujú v leteckom priemysle značnú inováciu v rámci progresívnych technológií využívajúcich virtuálnu alebo rozšírenú realitu.

Po zisteníach sme dospeli k záveru, že sú neoddeliteľnou súčasťou leteckého výcviku v nasledujúcich rokoch. Nielen svojou praktickou stránkou využitia ale taktiež spojením súčasných metód s metódami, ktoré inteligentné okuliare s rozšírenou realitou po postupnom vývoji a zlepšovaní nedokonalostí budú sprostredkovať.

Referencie

- [1] FUTURE TRAVEL EXPERIENCE. 13 trends that will drive the air transport industry recovery in 2021. [online]. Dostupné na internete: <https://www.futuretravelexperience.com/2021/01/13-trends-that-will-drive-the-air-transport-industry-recovery-in-2021/> (citované 2021-04-25)
- [2] KARTANAITE, I. et al. 2021. Financial modeling trends for production companies in the context of Industry 4.0. In Investment Management and Financial Innovations, 2021, Vol. 18, Issue 1, pp. 270-284. ISSN 1810-4967.
- [3] BUDD, L. – ISON, S. 2020. Air Transport Management: An International Perspective. 2. edition. New York: Routledge, 2020. s. 111. ISBN 978-0-429-29944-5
- [4] Európska komisia. Oznámenie komisie európskemu parlamentu, rade, európskemu hospodárskemu a sociálnemu výboru a výboru regiónov: Stratégia v oblasti letectva pre Európu. V Bruseli 7.12.2015
- [5] ŠKVAREKOVÁ, I. et al. 2020. Eye Track Technology in Process of Pilot Training Optimization. In 2020 New Trends in Aviation Development (NTAD). IEEE, 2020, pp. 206-210. ISBN 978-1-7281-7325-2. DOI: 10.1109/NTAD51447.2020.9379071
- [6] JENTSCH, F. – CURTIS, M. – SALAS, E. 2017. Simulation in Aviation Training: Critical Essays on Human Factors in Aviation. USA: Routledge, 2017. 540 p. ISBN 9781315243092.
- [7] PŘENOSIL, V. a kol. 2011. The concept of cooperative simulators. In Miroslav Hrubý. Distance Learning Simulation and Communication 2011. Brno: Univerzita obrany, 2011. s. 168-174. ISBN 978-80-7231-695-3.
- [8] Epic Flight Academy. What is a Flight Simulator? [online]. Dostupné na internete: <https://epicflightacademy.com/flight-simulator/> (citované 2021-04-29)
- [9] CENTO, A. 2009. The Airline Industry: Challenges in the 21st Century. Heidelberg: Physica-Verlag, A Springer Company, 2009. 184 p. ISBN 978-3-7908-2087-4.
- [10] HOLMQVIST, K. et al. 2011. Eye Tracking: A Comprehensive Guide To Methods And Measures. Oxford, UK: Oxford University Press, 2011. 560 p. ISBN 978-0-19969708-3.
- [11] SCHMALSTIEG, D. – HÖLLERER, T. 2016. Augmented reality : principles and practice. USA, Indianapolis: Addison-Wesley, 2016. 496 p. ISBN 978-0-321-88357-5.
- [12] Good Work Labs. How Augmented Reality can Help in Improving Aviation Safety. [online]. Dostupné na internete: <https://www.goodworklabs.com/how-ar-can-help-in-improving-aviation-safety/> (citované 2021-04-29)
- [13] TRAN, H. et al. 2018. Single Pilot Operations with AR-Glasses using Microsoft HoloLens. In 2018 IEEE / AIAA 37. Digital Avionics Systems Conference (DASC). UK: IEEE Xplore, 2018, pp. 1-7. ISSN: 2155-7195. DOI: 10.1109 / DASC.2018.8569261.
- [14] KORTEKAMP, S. et al. 2019. The Future of Digitalwork – use cases for Augmented Reality Glasses. In Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS). Sweden, 2019. ISBN 978-1-7336325-0-8.
- [15] CAPUTO, A. et al. 2020. XR-Cockpit: a comparison of VR and AR solutions on an interactive training station. In IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Vienna, Austria: IEEE, 2020, pp. 603-610. ISSN 1946-0759.
- [16] VALENTINO, K. – CHRISTIAN, K – JOELIANTO, E. 2017. Virtual Reality Flight Simulator. In Internetworking Indonesia Journal. Vol 9, No 1, 2017, pp. 21-25. ISSN 1942-9703.
- [17] VELICHKO, Michal. How Virtual and Augmented Reality Are Used in Aviation Training and Other Use Cases. In Jasoren. [online]. Dostupné na internete: <https://jasoren.com/how-virtual-and-augmented-reality-are-used-in-aviation-training-and-other-use-cases/> (citované 2021-05-01)
- [18] LYRHEDEN, F. 2019. How eye tracking will take aviation to new heights. In Smart Eye. Dostupné na internete: <https://smarte.se/blogs/how-eye-tracking-will-take-aviation-to-new-heights/> (citované 2021-05-03)

- [19] NICHOL, R. J. 2015. Airline Head-Up Display Systems: Human Factors Considerations. In International Journal of Economics & Management Sciences. New Zealand: Massey University, College of Business, 2015, Vol. 4, Issue 5, pp. 1-12. ISSN 2162-6359. DOI: 10.4172/2162-6359.1000248
- [20] International Airport Review. Smart glasses in the aviation industry: a fast developing technology. [online]. Dostupné na internete: https://www.internationalairportreview.com/article/68215/smart-glasses/?fbclid=IwAR0ZAFqchOV8EWRKbTV1ySB_GYYCGBQhEgsU_jAZ_v2KMzJ-6e6fqUu3XM4 (citované 2021-05-03)
- [21] Dream Glass. Dream Glass 4K/4K Plus. [online]. Dostupné na internete: <https://www.dreamworldvision.com/dream-glass-4k-4k-plus> (citované 2021-05-01)
- [22] Vuzix. Vuzix M400: Longevity Series. [online]. Dostupné na internete: <https://www.vuzix.com/products/m400-smart-glasses> (citované 2021-05-13)
- [23] Vuzix. Vuzix M4000: Longevity Series. [online]. Dostupné na internete: <https://www.vuzix.com/products/m4000-smart-glasses> (citované 2021-05-13)
- [24] Epson America. Moverio BT-40 Smart Glasses with USB Type-C Connectivity. [online]. Dostupné na internete: <https://epson.com/For-Work/Wearables/Smart-Glasses/Moverio-BT-40-Smart-Glasses-with-USB-Type-C-Connectivity-/p/V11H969020> (citované 2021-05-10)
- [25] KARTHIKA, S. – PRAVEENA, P. – GOKILAMANI, M. 2017. Hololens. In International Journal of Computer Science and Mobile Computing. Vol. 6, Issue 2, pp. 41-51. ISSN 2320-088X.

USING SDR RECEIVERS FOR UAV DETECTION

VYUŽITIE SDR PRIJÍMAČOV PRE DETEKCIU UAV

Robert Dianovský

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

Andrej Novák

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

Abstract

As the number of unmanned aerial vehicles (UAV) increases, new dangers arise for airports and other facilities. Because of this, the need for UAV detection and monitoring in areas, that might be endangered by their operation, is becoming an important topic. Introductory chapters are dedicated to the identification of potential risks posed by UAV operations and research of existing monitoring methods. The main goal of the paper, about which is this article, is to research the possibility of UAV detection by using accessible amateur SDR (Software-Defined Radio) for intercepting radio communications between UAV and its control station. Possible radio detection and localization methods were proposed based on the analysis of radio transmissions used in unmanned aerial systems. A simple theoretical design of SDR-based detection and localization system for monitoring unauthorized UAVs was developed by choosing appropriate methods. The principles and methods used in the design were experimentally demonstrated in several laboratory experiments. Successful realization of this design would possibly improve the availability of drone monitoring systems and reduce their production costs.

Keywords

Unmanned aircraft, UAV, Detection, Localization, Monitoring, SDR

1. Úvod

Bezpilotné lietajúce zariadenia sú vďaka rýchlemu vývoju technológií v uplynulých rokoch prístupnými pre širokú časť populácie, čím sa postupne stali neoddeliteľnou súčasťou dnešnej spoločnosti. Neodborná prevádzka alebo dokonca úmyselné zneužitie bezpilotných zariadení začalo v poslednej dobe predstavovať vážnu bezpečnostnú hrozbu najmä pre letiská, ale aj iné významné strategické objekty ako napríklad vládne budovy, štadióny, hromadné podujatia, vojenské základne, prístavy a mnohé iné. Nedávne zmeny v legislatíve sa usilujú prevádzku UAS efektívnejšie regulovať, napriek tomu však väčšina nebezpečenstiev pretrváva. Na základe toho vzniká potreba vývoja systémov schopných bezpilotné lietadlá narušajúce zakázaný vzdušný priestor detegovať, monitorovať a prípadne aj eliminovať. Komplexné systémy plniace tieto úlohy v súčasnosti vyvíja viacero svetových výrobcov, vo väčšine prípadov sú to však finančne náročné riešenia a ich použitie sa preto v civilnej sfére vzťahuje skoro výlučne na veľké medzinárodné letiská a iné kritické objekty.

Cieľom bakalárskej práce, z ktorej tento článok vychádza, je predovšetkým vytvoriť prehľad možností bežne dostupných rádiových prijímačov typu SDR v oblasti detekcie a lokalizácie neoprávnených bezpilotných lietadiel, teoreticky navrhnúť spôsob riešenia problematiky a niektoré detekčné a lokalizačné princípy aj prakticky demonštrovať.

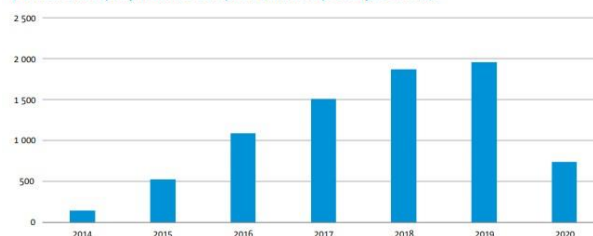
Výsledkom skúmania je návrh teoretického konceptu rádiového detekčného systému, založeného na monitorovaní frekvenčných pásiem SDR prijímačom a experimentálne overenie princípu rádiového zameriavania pomocou amplitúdovej metódy s rotujúcou smerovou anténou.

Riešenie založené na dostupných SDR prijímačoch je technologicky a aj finančne málo náročné, čo vytvára perspektívu zlepšenia dostupnosti systémov rádiového monitorovania UAV.

2. Problematika potreby monitoringu UAV

V predošlých rokoch sa trh s komerčne vyrábanými UAS určenými pre širokú skupinu populácie rozrastá rýchlym tempom, čo je spôsobené najmä znižovaním obstarávacej ceny týchto zariadení a vzrastajúcim záujmom verejnosti o túto technológiu. Bezpilotné lietadlá sú dnes už natoľko rozšírené, že každý mesiac nastane niekoľko vážnych incidentov – narušenie vzdušného priestoru, kolízií, odhalení pašovania kontrabandu, útokov a iných. Graf ukazuje vzrastajúci počet pozorovaní UAV v blízkosti letísk.

Figure A: Reported UAS occurrences between 2014 and 2020
(Source: EASA query from the European Central Repository, ECCAIRS).⁸



Graf 1: Počet hlásených výskytov UAV v okolí letísk. Zdroj: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone_incident_management_at_aerodromes_part1_website_suitable.pdf

Analýzou doterajších incidentov UAV môžeme identifikovať najväčšie riziká spojené s prevádzkou takýchto zariadení. Týmto sú najmä nasledovné:

- Kolízia s iným lietadlom
- Rušenie leteckých rádiových zariadení
- Škody na zdraví a majetku
- Teroristické útoky
- Ilegálna preprava tovaru
- Nezákonné získavanie informácií a sledovanie

3. Súčasný stav riešenej problematiky

Riziká uvedené vyššie vyvolávajú potrebu monitorovať UAV pohybujúce sa v priestore kde by mohla ich prevádzka predstavovať bezpečnostnú hrozbu. Monitorovanie pozostáva predovšetkým z detekcie prítomnosti UAV a následnom určení a sledovaní jeho aktuálnej polohy. Takéto informácie umožnia bezpečnostným zložkám uskutočniť potrebné opatrenia na eliminovanie vzniknutého rizika, či už priamo zneškodnením narušiteľa s použitím rôznych systémov na prerušenie letu neoprávneného UAV, alebo nepriamo pomocou iných postupov.

3.1. Existujúce metódy monitorovania UAV

Na riešenie detekcie a monitoringu bezpilotných prostriedkov je možné využiť niekoľko dostupných metód, ktoré sa líšia efektívnosťou a komplexnosťou. Súčasný metódy monitoringu UAV sú [1], [7]. :

- Optická detekcia
- Radarová detekcia
- Akustická detekcia
- Rádiofrekvenčná detekcia

V komerčných detekčných a monitorovacích systémoch sa zväčša stretávame s kombináciou viacerých detekčných metód, pre zabezpečenie väčšej presnosti a spoľahlivosti systému. V uplynulých rokoch vzniklo niekoľko spoločností zaoberajúcich sa touto problematikou, ako napríklad *Aaronia AG*, *Robin Radar Systems*, *NQDefense*, *Skylock*, *Rohde & Schwarz*, *Drone Shield* a ďalší.

3.2. Rozšírenie systémov monitorovania UAV na európskych letiskách

Vo všeobecnosti systémy detekcie UAV ešte nie sú na letiskách a v podobných objektoch dostatočne rozšírené, hlavnými užívateľmi sú v súčasnosti vládne ozbrojené bezpečnostné jednotky. V rámci práce bol preto vykonaný prieskum rozšírenia aplikácie systémov monitorovania UAV na ochranu pred narušením ochranných pásiem letísk. Predmetom skúmania boli európske medzinárodné letiská nachádzajúce sa v členských štátoch EASA (European Union Aviation Safety Agency). Keďže sa jedná ohľadom bezpečnosti o citlivú tému, ktorá spadá do zabezpečenia perimetra letiska, nebolo možné skúmať letiská jednotlivo. Zber dát bol preto uskutočnený kontaktovaním úradov civilného letectva (alebo iných zodpovedných inštitúcií)

členských štátov EASA prostredníctvom e-mailu s otázkou, či niektoré medzinárodné letiská v ich krajine používajú systémy detekcie neoprávnených UAV. Kontaktovaných bolo spolu 31 členských štátov EASA, pričom na e-mail odpovedalo 13 krajín. Z tohto počtu 8 úradov nemohlo na otázku odpovedať z bezpečnostných alebo iných dôvodov, 5 úradov sa vyjadrilo že na letiskách v ich krajine sa systémy detekcie UAV nenachádzajú. Viaceré krajiny však vyjadrili záujem o riešenie tejto problematiky a chystajú sa v blízkej dobe implementovať takéto systémy na svoje letiská. Vzhľadom na nedostatok údajov prieskum nemá príliš veľkú výpovednú hodnotu, avšak keďže žiadna z krajín nepotvrdila prevádzkovanie systémov detekcie UAS, môžeme predpokladať ich malé rozšírenie na letiskách.

4. Rádiová komunikácia v UAS

Z hľadiska riešenia rádiových frekvenčnej metódy detekcie, čo je primárnym cieľom tejto bakalárskej práce, je nutné oboznámenie sa s charakterom rádiových komunikácií prebiehajúcich v rámci bežne dostupných viacrotorových UAS. Bepilotné lietajúce zariadenia v rámci svojej diaľkovo ovládanej prevádzky komunikujú s riadiacou stanicou rádiovým prenosom. UAV ako aj riadiaca stanica sú preto vybavené rádiovým prijímačom a vysielačom, čím sa zabezpečuje prenos **riadiacich pokynov (C2 link), telemetrických dát a videa** v reálnom čase. Vlastnosti rádiových prenosov v UAS boli skúmané analýzou technických špecifikácií populárnych, bežne dostupných typov dronov.

4.1. Frekvenčné pásma v UAS

V UAV technológiách sú najčastejšie využívané najmä pásma **2,4 GHz** a **5,8 GHz** – pre Wi-Fi a iné komunikačné štandardy, ale menej často taktiež 433 MHz, 915 MHz alebo 27 MHz. Všetky tieto pásma patria medzi tzv. ISM pásma, ktoré nepodliehajú výraznej legislatívnej regulácii. Pri vojenských, modifikovaných, alebo svojpomocne skonštruovaných UAS je možnosť stretnúť sa tiež s inými frekvenciami mimo ISM pásiem.

4.2. Modulácie v UAS

Pre realizáciu rádiového prenosu je nutné zvoliť vhodný spôsob modulácie signálu. Komunikácia súčastí UAS využíva zväčša širokopásmové digitálne modulácie, čo zabezpečuje lepšiu odolnosť proti rušeniu a veľké prenosové rýchlosti. Stretávame sa tu s tromi hlavnými skupinami modulácií: OFDM, DSSS a FHSS. OFDM modulácia sa využíva predovšetkým pre prenos videa, nakoľko ponúka vysokú prenosovú rýchlosť. Pre C2 link a telemetriu sa zvyčajne volia modulácie DSSS alebo FHSS, pre ich vysokú odolnosť voči rušeniu.

4.3. Komunikačné štandardy v UAS

Okrem modulácie je pri rádiovom prenosu nutné použiť aj určitý prenosový štandard alebo protokol, ktorý udáva akým spôsobom sa prenášané informácie kódujú a dekodujú (prípadne aj šifrujú a dešifrujú). V UAS sa využívajú buď štandardizované multifunkčné protokoly ako Wi-Fi alebo Bluetooth, alebo špecializované štandardy (*Lightbridge*, *OcuSync*, *MAVLink*, *FASST*).

5. SDR prijímače

SDR (Software-Defined Radio) zariadenia sú pomerne novým konceptom v oblasti rádiovkej komunikácie, ktorý sa vďaka pokroku v digitálnych a informačných technológiách stal finančne dostupným a mimoriadne praktickým riešením príjmu rádiových signálov všetkých druhov. Vďaka tomu majú mimoriadnu perspektívu v oblasti detekcie a monitorovania neoprávnených bezpilotných prostriedkov. SDR pozostávajú z malého počtu hardvérových komponentov, ktoré vo väčšine prípadov pozostávajú len z jednoduchých vstupných obvodov a A/D prevodníka, pričom hlavné spracovanie signálu je zabezpečované softvérovou časťou systému. Prijímaný signál sa preto čo najskôr premení do digitálnej podoby a takto putuje do softvérovej časti. Táto skutočnosť dáva SDR prijímačom veľkú variabilitu a všestrannosť spracovania signálu, čo umožňuje ich použitie s veľmi širokou škálou frekvencií a neobmedzeným množstvom modulácií, komunikačných protokolov a spôsobov kódovania či šifrovania rádiovkej komunikácie. [2]



Obrázok 1: SDR prijímač HackRF One. Zdroj: https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41227i18ukL_AC_.jpg

6. Rádiová detekcia

Prítomnosť UAV je možné odhaliť pasívnym monitorovaním frekvenčných pásiem využívaných pri komunikácii v UAS, prijatím tohto prenosu, a následnou aplikáciou vhodnej rádiovkej detekčnej metódy pomocou ktorej dáta z prijímača správne vyhodnotíme. Existuje pomerne veľký počet rádiových detekčných metód, z tohto dôvodu sa venujeme iba niektorým metódam, ktoré sú vhodné pre riešenie detekcie UAV.

6.1. Energetická rádiová detekčná metóda

Jedná sa o jednoduchú a bežnú formu detekcie rádiových signálov, ktorá má nízku náročnosť prevedenia a spracovania dát. Využíva sa sledovanie intenzity (energie) prijímaného signálu vzhľadom na okolitý rádiový šum, po prekročení vopred špecifikovanej úrovne energie sa signál považuje za detegovaný. Na realizáciu energetickú detekčnej metódy nie je potrebné poznať konkrétnejšie vlastnosti signálu (napr. modulácia, komunikačný protokol), postačuje frekvenčné pásmo v ktorom chceme signály detegovať a hraničná úroveň energie určená podľa lokálnych podmienok [3] [8].

6.2. Monitorovanie sietí Wi-Fi

Ďalším možným prístupom je sledovanie aktívnych prístupových bodov Wi-Fi. Túto metódu je možné jednoducho realizovať nielen SDR prijímačmi, ale aj bežnými Wi-Fi adaptérmí pre počítače. Výhodou tohto prístupu je získanie informácií ako napríklad SSID zariadenia a jeho MAC adresa, čo umožní jednoduché a presné určenie typu zdroja signálu (či sa skutočne

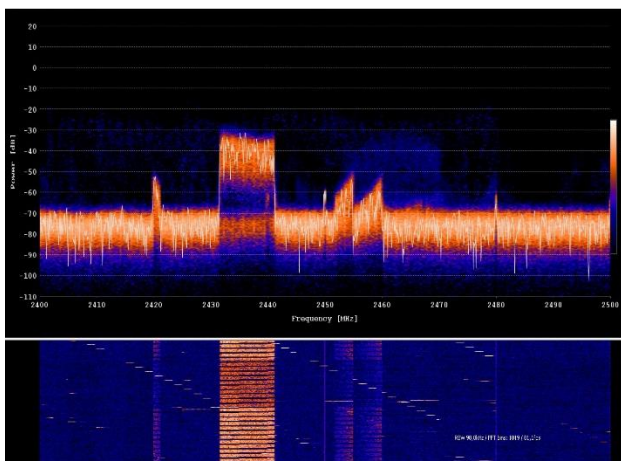
jedná o UAV). Rovnako tu je perspektíva dešifrovania zabezpečenia Wi-Fi siete a možný priamy prístup k telemetrickým údajom UAS. Na druhej strane je táto metóda limitovaná len na určité typy dronov, keďže podmienkou je využívanie Wi-Fi technológie pri komunikácii detegovaného UAS. [4]

6.3. Teoretický návrh riešenia detekcie UAV pomocou SDR

Vzhľadom na svoju spoľahlivosť a jednoduchosť je vhodné ako primárny spôsob detekcie zvoliť energetickú detekčnú metódu. Z vyššie uvedených teoretických poznatkov o technológiách rádiovkej komunikácie v UAS sme dospeli k záveru, že pre dosiahnutie najvyššej pravdepodobnosti detegovania bezpilotného lietajúceho zariadenia je výhodné monitorovanie pásma 2,4 GHz, prípadne 5,8 GHz, čo by malo zabezpečiť detekciu takmer všetkých bežne dostupných UAV. Teoreticky je ideálne sledovanie celého prevádzkového pásma použitého rádioprijímača, avšak takýto prístup kladie vysoké nároky na hardvér samotného SDR zariadenia a aj počítač spracovávajúci zachytený signál. Pre zabezpečenie úplného pokrytia oblasti kde sa má vykonávať detekcia UAV je nutné použiť všesmerovú anténu, t. j. takú, ktorá má vyžarovaciu charakteristiku rovnomernú vo všetkých smeroch, bez akýchkoľvek nepokrytých smerov. Signál prijímaný všesmerovou anténou je privádzaný do vhodného SDR prijímača. Softvér obsluhujúci SDR musí zabezpečiť skenovanie požadovaného frekvenčného pásma a zaznamenávať intenzitu prijímaného signálu na jednotlivých frekvenciách. Pásmo v ktorom očakávame výskyt komunikácie UAS však môže byť využívané aj inými zariadeniami (napr. WLAN siete pri pásme 2,4 GHz), preto je dôležité zabezpečiť odfiltrovanie okolitých známych zdrojov signálov. Systém preto po aktivácii musí urobiť referenčný záznam pozorovaného pásma, s ktorým sa pri jeho prevádzke budú porovnávať aktuálne dáta.

6.4. Demonštrácia energetickej rádiovkej detekcie

Pre overenie funkčnosti navrhovaného riešenia detekcie UAV a demonštráciu takéhoto systému bol uskutočnený jednoduchý experiment. Hardvérové vybavenie pozostávalo zo svojpomocne skonštruovaného **polvlnového dipólu** pre frekvenciu 2450 MHz (približný stred 2,4 GHz Wi-Fi pásma) umiestneného vertikálne a SDR prijímača **HackRF One**. Softvér použitý na merania bol **hackrf_sweep Spectrum Analyzer** umožňujúci skenovanie veľkej časti RF spektra v reálnom čase (v tomto prípade celé 2,4 GHz Wi-Fi pásmo). Experiment spočíval v skenovaní frekvenčného pásma 2,4 GHz pri aktívnom UAS, s cieľom zachytiť ním vysielané rádiové signály. Meranie sa uskutočnilo s tromi rôznymi modelmi UAS – *DJI Inspire 2*, *ZeroUAV HighOne* a *3DR IRIS*. Prenos videa malo zapnuté iba zariadenie DJI Inspire 2, ostatné dve vysielali výlučne telemetrické dáta a C2 link.



Obrázok 2: Detekcia DJI Inspire 2. Zdroj: Vlastné merania, softvér hackrf_sweep Spectrum Analyzer.

Rádiová stopa dronu DJI Inspire 2 bola veľmi dobre detekovateľná. Na spektrograme (Obr. 2) je jasne viditeľný OFDM prenos videa a taktiež menej zrejme FHSS prenosy telemetrie a C2 linku. Detekcia UAV bez aktívneho prenosu videa bola omnoho menej jednoznačná. Počas experimentov so zariadeniami 3DR IRIS a ZeroUAV HighOne sa podarilo zachytiť len krátke, málo zreteľné prenosy typické pre využívanú moduláciu FHSS.

7. Rádiová lokalizácia

Po detekcii prítomnosti neoprávneného UAV v zabezpečovanej lokalite je veľmi prínosné odhaliť aj jeho polohu, čo utvorí lepší prehľad o aktuálnej situácii a najmä pomôže pri realizácii zásahu proti takémuto zariadeniu. Uvádzame iba metódy s najlepším potenciálom pre realizáciu lokalizácie neoprávnených UAV, keďže rádiová lokalizácia je veľmi obsiahla téma ponúkajúca množstvo riešení [9].

7.1. Lokalizácia meraním RSS

Veľmi perspektívnu metódou rádiového určovania polohy UAV je meranie RSS (Relative Signal Strength – relatívna intenzita signálu) z viacerých meracích staníc v monitorovanej oblasti. Uplatňuje sa tu jav znižujúcej sa relatívnej intenzity signálu s narastajúcou vzdialenosťou vysielača od prijímača. Hardvérový je RSS lokalizácia veľmi málo náročná, každá meracia stanica musí byť vybavená iba všesmerovou anténou a SDR prijímačom, naopak na softvérovú stránku je to pomerne náročné riešenie. Meracia stanica zachytí signál vysielaný z UAV (najčastejšie prenos videa) a vyhodnotí jeho RSS. Namerané údaje zo všetkých staníc sa odošlú do centrálného počítača kde sa medzi sebou porovnávajú a vytvorí sa odhad polohy zdroja vzhľadom na pozorovacie stanice. [5]

7.2. Rádiové zameriavanie zdroja signálu

Pasívne rádiové zameriavanie spočíva vo väčšine prípadov v určení relatívneho smerníka ku zdroju rádiového signálu (cieľa). Pri zameraní cieľa z viacerých meracích staníc je možné následne trianguláciou vypočítať jeho geografickú polohu. Metódy rádiového zameriavania sú plne pasívne, nevyžadujú teda žiadnu spoluprácu vysielača zameriavaného signálu, ani detailnú znalosť charakteristík tohto signálu. Z tohto dôvodu je rádiové

zameriavanie veľmi univerzálnym a efektívnym nástrojom lokalizácie rádiových cieľov rôzneho druhu. Rozlišujeme viacero metód rádiového zameriavania s rôznymi princípmi fungovania, vhodných na rozličné aplikácie, ktoré môžeme kategorizovať do troch väčších skupín [6]:

- **amplitúdové metódy** (napr. rotujúca anténa, Watson-Watt)
- **frekvenčné metódy** (Doppler, pseudo-doppler zameranie)
- **fázové metódy** (interferometria, korelačná interferometria)

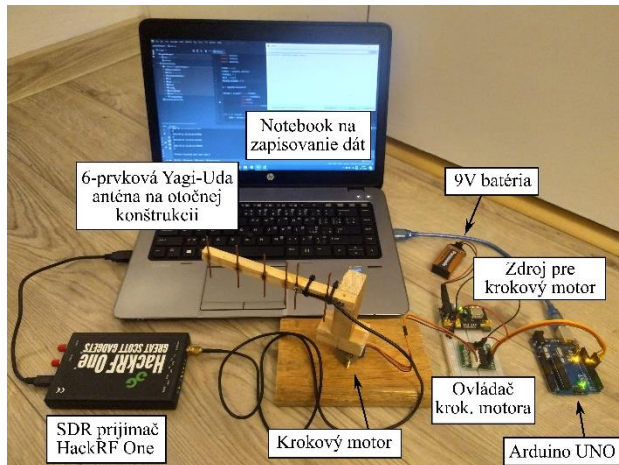
7.3. Teoretický návrh riešenia lokalizácie UAV amplitúdovým rádiovým zameraním rotujúcou anténou

Vzhľadom na charakter a rôznorodosť rádiových signálov vysielaných bezpilotnými zariadeniami je pre riešenie problému lokalizácie detegovaného UAV vhodné použiť amplitúdové rádiové zameriavanie pomocou rotujúcej smerovej antény z viacerých staníc a následnú trianguláciu polohy zdroja signálu. Takéto riešenie určovania polohy má výhodu v podobe jeho jednoduchosti a softvérovej nenáročnosti, na druhej strane však prináša aj nevýhodu potreby merania z viacerých staníc. Smerovú anténu je potrebné umiestniť na podstavec umožňujúci jej riadenú rotáciu o 360° a prenos údajov o aktuálnej polohe antény do softvéru spracovania. Anténa sa musí otáčať čo najväčšou možnou rýchlosťou (s ohľadom na konštrukčné a softvérové obmedzenia) aby bolo možné pomerne presné sledovanie pohybu aj rýchlejšie sa pohybujúcich UAV. Prvým krokom úspešnej lokalizácie je detekcia UAV podľa vyššie popísaného princípu, z čoho získame frekvenciu na ktorej aktuálne cieľ vysiela. Na túto frekvenciu sa následne naladí SDR prijímač pre zameriavanie a zvolí vhodnú pásmovú šírku pre daný typ prenosu. Zameriavací softvér musí dokázať v reálnom čase priradiť údaj o azimute natočenia antény k intenzite prijímaného signálu na požadovanej frekvencii a následne identifikovať kde sa nachádza jeho maximum. Ideálne je keď má signál stálu frekvenciu a intenzitu (napr. OFDM prenos videa v UAV), ak tomu tak nie je (napr. FHSS a DSSS prenosy C2 linku a telemetrie) musíme ošetriť stanovenie intenzity komplikovanými softvérovými algoritmami, v niektorých prípadoch zameriavanie touto metódou dokonca nemusí byť vôbec možné. Výstupom zameriavacej stanice je azimut na ktorom bolo pozorované maximum intenzity sledovaného signálu, čo môžeme považovať za smer k cieľu od meracieho stanoviska. Vhodným prijímačom pre realizáciu tejto metódy je HackRF One, spracovanie signálu je ideálne riešiť prostredníctvom algoritmu na základe GNURadio.

7.4. Demonstrácia rádiového zameriavania a lokalizácie UAV

Za účelom overenia princípov zameriavania metódou rotujúcej antény bola skonštruovaná jednoduchá experimentálna zostava. Zostáva z vertikálne polarizovanej **6-prvkovej Yagi-Uda** smerovej antény umiestnenej na otočnej konštrukcii. Táto je poháňaná krokovým motorom riadeným jedno-čipovým mikropočítačom typu **Arduino UNO**. Kód uložený v mikropočítači cez riadiaci elektrický obvod riadi rýchlosť a rozsah otáčania podľa zadaných požiadaviek, pričom zároveň posiela informáciu o polohe natočenia antény v danom čase cez USB port do počítača. Na monitore sa zobrazí presný časový údaj a jemu zodpovedajúci uhol otočenia od východiskovej polohy,

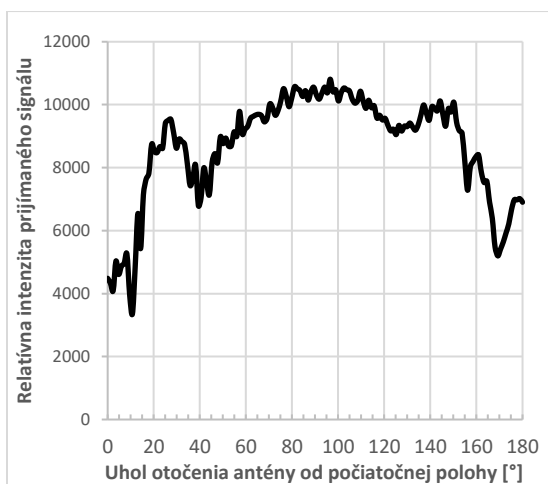
tieto údaje následne uložíme pre ďalšie spracovanie. Príjem signálu má na starosti SDR prijímač **HackRF One** pripojený k laptopu. Spracovanie signálu je realizované transformáciou úplného nespracovaného RAW signálu z SDR na zvukový signál pomocou softvéru SDRSharp. Tento zvukový výstup je priamo úmerný veľkosti intenzity signálu v dB, vďaka čomu je možné použiť ho na presný záznam RSS. Intenzita signálu je následne zapisovaná v nastaviteľných časových intervaloch jednoduchým algoritmom napísaným v programovacom jazyku Python.



Obrázok 3: Experimentálna zostava na demonštráciu rádiového zameriavania rotujúcou anténou. Zdroj: Autori.

7.4.1. Zameriavanie rádiového zdroja

Pri demonštrácii bolo zameriavané UAV typu *DJI Inspire 2*, umiestnené stacionárne na zemi. Počas celého merania komunikovalo so svojou riadiacou stanicou, vrátane prenosu videa. Rozsah otáčania antény pri meraniach bol z praktických dôvodov zvolený na 180°, po dosiahnutí tohto uhla sa rotácia obráti a pokračuje späť ďalších 180°. Skenovaním frekvenčného pásma 2,4 GHz sa pred začatím merania určí frekvencia, na ktorej UAV aktuálne vysiela. Na túto sa naladí SDR prijímač HackRF One pomocou softvéru SDRSharp, následne sa aktivuje zapisovanie RSS signálu a rotácia antény spolu so zapisovaním jej uhla natočenia. Získané dáta sme pre prehľadnosť a jednoduchšie vyhodnotenie spracovali do podoby rôznych grafov.

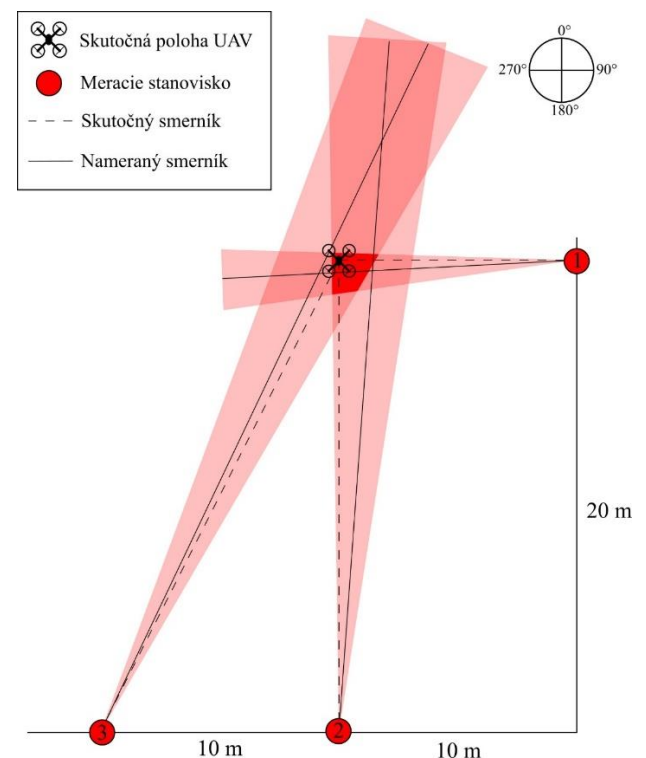


Graf 2: RSS podľa uhla otočenia, rádiový zdroj 90° od referenčného smeru. Zdroj: Autori.

V tomto príklade (Graf 2) je priemerná hodnota relatívneho smerníka ku zdroju signálu približne 95°. Skutočný relatívny smerník k zameriavanému UAV v čase merania bol 90°. Vzniknutá odchýlka mohla byť spôsobená predovšetkým nepresnosťou pri meraní skutočného smerníka, kalibrácií počiatočnej polohy antény, alebo aj vŕhmi v otočnom mechanizme, nedokonalosťami pri zázname dát a smerovou charakteristikou použitej antény. Na základe vykonaných meraní odhadujeme chybu zamerania pomocou nami použitej experimentálnej zostavy na najviac $\pm 5^\circ$.

7.4.2. Lokalizácia rádiového zdroja

Opakovaním postupu zameriavania z viacerých rôznych pozícií je možné na základe týchto meraní určiť polohu zdroja signálu – čiže UAV. Pre demonštráciu bol rádiový zdroj – dron *DJI Inspire 2* zameriavaný postupne z troch miest. Na Obr. 4, ktorý znázorňuje tento experiment, sú zaznamenané polohy a vzdialenosti meracích stanovísk voči zameriavanému dronu. Z každého stanoviska sa uskutočnilo rádiové zameranie pomocou rotujúcej smerovej antény. Výsledné smerníky (aritmetický priemer viacerých meraní) sú v nákrese zobrazené čiernymi čiarami od jednotlivých stanovísk. Ružové kužele veľké 5° do oboch smerov od každého zo smerníkov ilustrujú odhadovanú chybu meraní (t. j. rozsah, v ktorom takmer s určitou predpokladáme výskyt cieľa). Prienik týchto troch kužeľov (červená plocha) určuje oblasť v ktorej je najvyššia pravdepodobnosť výskytu lokalizovaného cieľa. V prienikoch dvoch kužeľov (tmavšia ružová) je možnosť výskytu už nižšia. Prienik všetkých kužeľov má rozmery približne 2 x 2 m a zameriavané UAV sa skutočne nachádzalo na jeho okraji. Demonštrácia lokalizácie bola teda úspešná a dokonca aj pomerne presná.



Obrázok 4: Lokalizácia rádiovým zameraním. Zdroj: Autori.

8. Záver

Problematika detekcie a monitorovania UAV je v súčasnosti veľmi aktuálnou témou, vzhľadom na rýchlo rastúci počet UAS a riziká spojené s ich prevádzkou. Momentálne existuje niekoľko vhodných metód na riešenie tohto problému, ich aplikáciou do praxe vznikajú rôzne komerčné systémy zabezpečujúce ochranu objektov pred UAV. Skúmaná problematika má zatiaľ iba veľmi krátku históriu, systémy ochrany pred bezpilotnými prostriedkami sú rozšírené ešte len minimálne.

Jedným z dostupných spôsobov riešenia je rádiový detekcia, ktorá spočíva v zachytávaní rádiových prenosov vysielaných letiacim UAV pre výmenu informácií s riadiacou stanicou. Rádiový detekcia je pomerne ľahko realizovateľná, spoľahlivá, ponúka dosah minimálne rovnajúci sa dosahu sledovaného UAS a tiež aj možnosť jeho lokalizácie. Rádiové určenie polohy narušiteľa je možné uskutočniť niekoľkými rôznymi metódami. Hlavnou nevýhodou rádiový detekcie je neschopnosť odhaliť autonómne UAV, ktoré nekomunikujú so žiadnou riadiacou alebo monitorovacou stanicou.

Bakalárska práca sa venovala predovšetkým skúmaniu možnosti uplatnenia bežne dostupných amatérskych SDR prijímačov v rádiový detekcii a lokalizácii UAV. Najvhodnejším sa ukázal byť prijímač HackRF One, ktorý dokáže pokryť všetky frekvenčné pásma používané v UAS. V rámci práce boli vytvorené teoretické návrhy systémov detekcie a lokalizácie UAV, oba založené na SDR prijímači HackRF One. Základné princípy ktoré sa v týchto návrhoch uplatňujú boli preverené experimentálnymi meraniami. Merania dopadli úspešne, preukázali sme nimi funkčnosť, spoľahlivosť a dostatočnú presnosť zvolených metód pre túto aplikáciu. Potenciálna praktická realizácia predstavených návrhov by si vyžadovala ďalšie skúmanie a zlepšovanie popísaných princíпов a metód. Zameriavacia a lokalizačná časť takéhoto systému by pravdepodobne zostala limitovaná na detekciu UAV s prenosom obrazu, pričom detekčná časť by mala byť účinná na odhalenie takmer akéhokoľvek zariadenia riadeného pilotom na diaľku. Hlavným predpokladom realizácie takéhoto systému by bolo zhotovenie komplexného softvérového riešenia, ktoré by merania vykonávalo a vyhodnocovalo plne automaticky. V prípade úspešného vyvinutia takéhoto systému by sa mohlo jednať o finančne dostupné a spoľahlivé riešenie zabezpečenia objektov proti bezpilotným prostriedkom.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra 2014 - 2020 pre projekt: Inteligentné operačné a spracovateľské systémy pre UAV, s ITMS kódom projektu 313011V422, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] TAHA, B. a SHOUFAN, A. 2019. Machine Learning-Based Drone Detection and Classification: State-of-the-Art in Research. *IEEE Access*. [Online] 23. September 2019. [cit. 23. Apríl 2021.] https://www.researchgate.net/publication/336008624_Machine_Learning-Based_Drone_Detection_and_Classification_State-of-the-Art_in_Research.

- [2] COLLINS, T. F., et al. 2018. Software-Defined Radio for Engineers. *analog.com*. [Online] 2018. <https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Software-Defined-Radio-for-Engineers-2018/SDR4Engineers.pdf>. ISBN-13: 978-1-63081-457-1.
- [3] BELLO, A. 2019. Radio Frequency Toolbox for Drone Detection and Classification. *DigitalCommons*. [Online] 2019. [cit. 28. Február 2021.] https://digitalcommons.odu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1161&context=ece_etds. DOI: 10.25777/9gkm-jd54.
- [4] DEEPSIG. 2020. Introduction to Commercial Drone Signals. *deepsig.ai*. [Online] 14. August 2020. [cit. 15. Marec 2021.] <https://www.deepsig.ai/news/introduction-to-commercial-drone-signals>.
- [5] GELMAN, I. et al. 2019. Adversary UAV Localization With Software Defined Radio. *Worcester Polytechnic Institute*. [Online] Máj 2019. [cit. 3. Máj 2021.] <https://web.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-041719-144214/unrestricted/HassanGelmanLoftusMQP.pdf>.
- [6] ROHDE & SCHWARZ. 2010. Introduction into Theory of Direction Finding. *rohde-schwarz.com*. [Online] 2010. [cit. 16. Marec 2021.] https://cdn.rohde-schwarz.com/us/campaigns_2/a_d/Introduction-Into-Theory-of-Direction-Finding.pdf.
- [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
- [8] Havel, k a kol., 2005. Základný kurz pre personál technického zabezpečenia letových prevádzkových služieb, Bratislava : LPS SR,, 2005.
- [9] Novák, A. 2005. Radio direction finding in air traffic services. *Promet-Traffic&Transportation* 17 (5), 273-276

O autorovi

Robert Dianovský – narodený 28.2.1999 v Leviciach, v rokoch 2014 – 2018 navštevoval Gymnázium Andreja Vrábla v Leviciach. V roku 2018 započal štúdium v študijnom programe letecká doprava na Žilinskej univerzite v Žiline, ktoré trvá do súčasnosti.

IMPLEMENTATION OF A NEW RWY REPORTING SYSTEM AND SNOWTAM FORMAT IN SLOVAK REPUBLIC

IMPLEMENTÁCIA NOVÉHO FORMÁTU OHLASOVANIA STAVU RWY A SNOWTAM V SR

Marek Drábek
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
marek.drabek1@gmail.com

Antonín Kazda
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
antonin.kazda@fpedas.uniza.sk

Abstract

This paper presents the upcoming changes in the runway reporting format and the newly introduced SNOWTAM format. The aim of the paper is to draw comparisons between the current SNOWTAM format and the updated version applicable as of November 2021. The author analysed information from available documents published by the International Civil Aviation Organisation ICAO, which describe the general conditions adopted to the new runway condition reports formulations. Since the author is enrolled in his pilot training, his objective when writing this final thesis, was to understand the issue of the changes. From this knowledge he can benefit in his future carrier. The paper points out new formats of reports of airport movement areas reporting conditions. As the new reports and techniques of reporting have not been used in real conditions yet, the author based the paper on the ICAO standards and recommended practices, ICAO and EASA guidance material. Introduction of the new methodology is expected to provide a better understanding of reports informing about contamination on movement areas, to ensure more precise aeroplane performance calculations and enhance the safety.

Keywords

Snow conditions, SNOWTAM, Friction conditions, Runway report, New formatting

1. Úvod

Medzinárodná organizácia ICAO považuje bezpečnosť prevádzky na vzletovej a pristávacej dráhe za jednu z troch hlavných priorit. Udržiavanie pohybových plôch letiska bez akéhokoľvek znečistenia je cieľom na zaistenie bezpečnej leteckej dopravy. V prípade vzniku kontaminácie snehom, ľadom, kašovitým snehom, či inými formami snehu je prevádzkovateľom letiska zabezpečené vydanie správy SNOWTAM informujúcej o stave vzletovej pristávacej dráhy (RWY). Napriek tomu, že správa SNOWTAM predstavuje NOTAM zvláštnej série, nemá so správou NOTAM unifikovaný formát.

Dňom 4. novembra 2021 vstúpi celosvetovo do platnosti nový formát správy SNOWTAM ako súčasť novej metodológie Global Reporting Format (GRF), ktorá upravuje spôsob ohlasovania stavu pohybových plôch letiska a jednotlivé správy oznamujúce stav kontaminovaných plôch letovej posádke [1]. Cieľom týchto zmien je poskytnúť informácie o stave RWY v prehľadnejšej podobe a zabezpečiť presnejší podklad pre výpočet výkonnosti letúnov.

2. Sneh v leteckej doprave

Snehová pokrývka na pohybových plochách letiska obmedzuje prevádzku leteckých spoločností aj samotné služby letiska. Neraz musí dôjsť k obmedzeniu prevádzky alebo až k jej úplnému prerušeniu. To vedie k odkloneniu letov na alternatívne letiská, v dôsledku čoho vznikajú finančné straty. Keďže nie je možné takýmto meteorologickým javom zabrániť,

je nutnosťou zabezpečiť efektívne odstránenie vzniknutej kontaminácie z najdôležitejších plôch letiska.

Letecký predpis L14-I definuje tri základné druhy snehu. Tie sa navzájom líšia hustotou, ktorú v nemalom smere ovplyvňuje vonkajšia teplota. Čím je teplota vyššia, tým je vyššia aj merná hmotnosť snehu. Z tohto hľadiska sú zadané tri druhy snehu:

- Suchý sneh - hustota pod $0,35 \text{ kg.dm}^{-3}$
- Mokrý sneh - hustota v rozmedzí $0,35$ do $0,5 \text{ kg.dm}^{-3}$
- Stlačený sneh - hustota je $0,5 \text{ kg.dm}^{-3}$ a väčšia

„Špeciálna kategória je sneh nasýtený vodou nazývaný kašovitý sneh. Predstavuje sneh nasýtený vodou, ktorý sa pri prudkom došliapnutí chodidla rozstrekne, a ktorého hustota je od $0,5$ do $0,8 \text{ kg.dm}^{-3}$.“ [2]

Kombinácia snehu, ľadu a/alebo stojacej vody môže vyprodukovať zmesi s veľmi vysokou hustotou. Tieto látky majú vplyvom vysokého obsahu vody a ľadu skôr priehľadnejší než zakalený vzhľad. S rastúcou hustotou snehu na RWY sa predlžuje dĺžka dráhy potrebnej pre rozjazd a pristátie lietadla. V niektorých prípadoch viedli takéto podmienky ku šmyku lietadla a jeho vybočeniu z RWY [3].

Plán zimnej údržby letiska musí preto zabezpečiť odstránenie čo najväčšieho množstva námrazových javov na všetkých pohybových plochách letiska [4]. Ten zohľadňuje aj poradie

priorít pri odpratávaní, pokiaľ nie je možné odstrániť kontamináciu z rôznych častí pohybovej plochy súčasne [2].

2.1. Snehový plán

Cieľom snehového plánu je zabezpečiť zimnú údržbu letiska. Efektívny snehový plán zohľadňuje čo najrýchlejšie a najefektívnejšie odstránenie nahromadenej kontaminácie v podobe snehu, ľadu, snehovej kaše a iných námrazových javov pre zabezpečenie plynulej prevádzky. Na zabezpečenie bezpečnej prevádzky je čistenie RWY vykonávané v celej jej šírke, len v nevyhnutných prípadoch môže byť dočasne šírka očistenej RWY zúžená [5].

Na medzinárodných letiskách na území Slovenskej republiky (SR) sa čistenie pohybových plôch vykonáva v zimnom období, približne v čase od 1. novembra do 15. apríla. Pri výbere čistiacich mechanizmov musí prevádzkovateľ brať do úvahy fakt, že pohybové plochy letiska sa líšia od cestných komunikácií. Používané sú špecializované zariadenia, ktoré efektívne očistia jednotlivé plochy v krátkom čase a nepoškodia osadené zapustené dráhové návěstidlá [4] [5]. Počet jednotlivých mechanizmov odrzkadľuje vyťaženosť letiska a jeho zemepisnú polohu.

Súčasťou odpratávania kontaminácie je počas zimnej prevádzky aj meranie koeficientu trenia povrchu RWY. Za odstraňovanie snehu, za meranie hĺbky vrstvy (vody, snehu, ľadu) a za meranie koeficientu trenia alebo odhad brzdného účinku je zodpovedný prevádzkovateľ letiska. Prevádzkovateľ je zároveň poverený aj za vydanie správy vo formáte SNOWTAM. V SR je následne šírenie tejto správy zabezpečené po sieti leteckej pevnej služby (AFS) Letovými prevádzkovými službami [5].

Plán snehovej údržby musí počítať s faktom, že zverejnené informácie musia poskytovať čo najväčšiu presnosť, preto musí byť správa aktualizovaná vždy, keď sa podmienky výrazne zmenia. Prax však ukázala, že najdlhšie omeškanie nastáva práve medzi časom merania a časom vyplnenia a podania správy SNOWTAM. Dôležité je preto správne naplánovanie jednotlivých úkonov na RWY. Medzi posledné sa preto radí meranie šmykového trenia, čím sa zabezpečí jeho najväčšia presnosť [6].

2.2. Správa SNOWTAM

Pre správne a rýchle pochopenie dostupných informácií o kontaminácii pohybových plôch musel byť zavedený unifikovaný systém hlásenia. V roku 1967 prvýkrát zverejnilo ICAO definíciu správy SNOWTAM, ktorá vychádzala zo správy NOTAM. S platnosťou od 8. februára 1968 sa formát správy SNOWTAM do dnešnej doby (máj 2021) zásadne nemenil [7]. Zmenu by mal priniesť nový systém ohlasovania stavu RWY označený ako Global Reporting Format (GRF) predstavený Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo v roku 2016 [8].

2.2.1. Súčasný formát

„SNOWTAM s platnosťou do 3. novembra 2021 predstavuje NOTAM zvláštnej série, oznamujúci prítomnosť alebo ukončenie nebezpečných podmienok spôsobených snehom, ľadom, kašovitým snehom alebo stojacou vodou pôvodom zo snehu, kašovitého snehu a ľadu na pohybovej ploche pomocou špecifického formátu.“ [9]

Správa SNOWTAM je tvorená podľa leteckého predpisu ICAO Doc. 10066 PANS-AIM. Maximálna platnosť správy je stanovená na 24 hodín, odporúčané však je vydať novú správu vždy, keď sa situácia zásadne zmení [10]. Za takúto zmenu môže byť považovaná napríklad „...akákoľvek zmena nánosu alebo inej kontaminácie, ktorá si vyžaduje preformulovanie správy SNOWTAM“ či „... zmena koeficientu trenia okolo hodnoty 0.05“ [3].

Správa SNOWTAM používaná do novembra 2021 upravuje 17 informácií označených písmenami A-T. Každá zverejnená správa začína záhlavím (Obrázok) obsahujúcim identifikačnú skratku SW a prefix určujúci krajinu, v ktorej sa letisko nachádza. Hlavička ďalej obsahuje poradové číslo správy na danom letisku v danom kalendárnom roku, štvormiestny ICAO kód letiska, pre ktoré je správa vydaná a osemmiestny kód určujúci dátum a čas merania a pozorovania v čase UTC [11].

SWLS0149 LSZH 11070620

Obrázok 1: Príklad hlavičky správy SNOWTAM
Zdroj: [12].

Stav pohybových plôch letiska vrátane RWY, TWY a odbavovacích plôch je následne opísaný v bodoch A až T. Jednotlivé body opisujú možné ohrozenia a obmedzenia, kedy body C až M sa týkajú jednotlivých RWY a zvyšné nasledujúce body (N - T) ostatných pohybových plôch letiska.

Body F až H uvádzajú vždy tri údaje oddelené lomkou. Opisujú stav RWY v jednotlivých tretinách RWY vždy od nižšieho označenia dráhy – príklad v prípade letiska LZIB dráha 13-31 budú údaje uvádzané v tretinách RWY zo smeru 13 [3] [10].

Bod H súčasného formátu správy SNOWTAM opisuje trenie povrchu začínajúc od prahu dráhy s nižším označením. Koeficient trenia sa zmeria pomocou špecializovaného zariadenia a výslednému koeficientu trenia je priradené slovné vyjadrenie podľa tabuľky vychádzajúcej z výsledkov meraní vykonaných na vybraných kontaminovaných pohybových plochách a k tomu prislúchajúci číselný kód [2].

Body A-S sú zaznamenané v kódovanej forme. Jedinú výnimku tvorí bod T, ktorý je uvádzaný nekódovane, v otvorenej reči a popisuje akékoľvek ďalšie informácie [10].

Vzorový formulár pre vydanie správy SNOWTAM s opisom jednotlivých bodov je dostupný v dokumente doc. 10066 Aeronautical Information Management vydaný organizáciou ICAO [12].

2.2.2. Nový formát

V apríli 2019 vydala organizácia ICAO dodatok 39B k predpisu Annex 15, ktorý predstavuje nový formát správy SNOWTAM s plánovanou platnosťou odo dňa 5. november 2020. Z dôvodu prebiehajúcej celosvetovej pandémie COVID-19 a s tým spojenými obmedzeniami posunulo ICAO zavedenie nových zmien týkajúcich sa nového formátu správy SNOWTAM ako aj novo zavádzanej metodológie ohlasovania stavu RWY označenej ako Global Reporting Format (GRF) na 4. november 2021 [1] [8].

„SNOWTAM s platnosťou od 4. novembra 2021 NOTAM zvláštnej série vydávaný v štandardnom formáte, poskytuje správu o stave povrchu, oznamujúc prítomnosť alebo pominutie

nebezpečných podmienok spôsobených snehom, ľadom, kašovitým snehom, námrazou, stojatou vodou alebo vodou zo snehu, kašovitého snehu, ľadu alebo námrazy na pohybovej ploche.“ [9]

Nový formát zahŕňa okrem informácií o výskyte snehu aj informácie týkajúce sa stojacej vody. Platnosť nového SNOWTAMu bude 8 hodín na rozdiel od súčasných 24 hodín. Nový SNOWTAM však musí byť vydaný vždy pokiaľ je vydaná nová správa o stave vzletovej a pristávacej dráhy - Runway Condition Report (RCR) [8].

Záhlavie správy je zachované pre „... uľahčenie automatického spracovania správ SNOWTAM v počítačových databázach“ [12] v rovnakom tvare ako pri súčasnom formáte [8].

Šablóna pre spracovanie správy SNOWTAM od novembra 2021 sa líši od súčasného formátu. Písmená na označenie jednotlivých položiek (A až T) v treťom stĺpci šablóny nového formátu správy SNOWTAM sa používajú už iba na odkazovacie účely a ich samotné označenie sa vo výslednej správe neuvádza. „Písmená M (mandatory = povinné), C (conditional = podmienené) a O (optional = dobrovoľné) uvedené v druhom stĺpci šablóny označujú použitie a informáciu.“ [8]

01150915 12L 5/2/2 100/50/75 NR/06/06 WET/SLUSH/SLUSH

Obrázok 2: Nový formát vydávanej správy SNOWTAM.
Zdroj: [8].

Nový formát správy SNOWTAM bude posudzovať stav pohybových plôch letiska z dvoch pohľadov. Body A až H v treťom stĺpci šablóny predstavujú sekciu výpočtu výkonnosti letúna (Aeroplane performance calculation section). Nasledujúce body I až T sú zaradené do sekcie situačného povedomia (Situational awareness section) [11].

V položke E pribudol nový povinný údaj zohľadňujúci percentuálne množstvo kontaminácie na jednotlivých tretinách RWY. Vizualným pozorovaním je zhodnotený pokrytie kontamináciou a percentuálny údaj uverejnený v správe SNOWTAM je zaokrúhlený [13].

Posledná povinná položka prvej sekcie správy SNOWTAM bod G (Obrázok) nového formátu je náhradou bodu F starého formátu. Stav povrchu RWY je opísaný slovné a nie číselne ako pri súčasnom formáte a možnosť na určenie druhu kontaminácie je v novom formáte viac. Slovný opis stavu RWY zjednodušuje pilotom pochopenie správy [11].

Údaje o predpokladaných brzdných účinkov sú v novom formáte správy SNOWTAM nahradené komplexným kódovým označením RWYCC (z anglického Runway Condition Code). Toto označenie predstavuje hodnotenie celkovej klzkosti povrchu RWY na základe posúdenia úškoleným a spôsobilým personálom. Spolu s brzdnými účinkami sa RWYCC vyskytuje v štruktúre posudzovania stavu RWY (RCAM) [13].

Jednotlivé informácie zohľadňujúce stav RWY sú v novom formáte zapísané pod iným poradovým písmenom ako vo verzii používanej do novembra 2021. Výsledná správa predstavuje zjednodušený text, ktorého rozkódovanie je pre pilota jednoduchšie ako v prípade dnes používaného formátu.

3. Meranie charakteristík trenia

Povrch RWY musí zabezpečovať dostatočné brzdné účinky a odvodňovacie vlastnosti. Pokiaľ povrch vozovky nespĺňa minimálne prijateľnú úroveň brzdných účinkov vydaná by mala byť správa NOTAM. Pokiaľ je táto zmena spôsobená snehom, ľadom či inými námrazovými javmi, musí byť vydaná správa SNOWTAM [6].

„Meranie koeficientu trenia poskytuje najlepší podklad na určenie podmienok trenia povrchu.“ [2]

3.1. Meracie zariadenia

Podľa spôsobu merania koeficientu trenia je možné rozdeliť zariadenia na dve kategórie

- Zariadenie na kontinuálne meranie trenia
- Decelerometer

Na RWY pokrytých stlačeným snehom alebo ľadom sa používajú zariadenia na kontinuálne meranie trenia (CFME z anglického Continuous Friction Measuring Equipment). Medzi takéto zariadenia patria napríklad Skiddometer, Surface Friction Tester či Mu – meter [2] [6].

Meracie zariadenie trenia je vybavené zabudovaným prídavným testovacím kolesom. Takéto koleso je v dotyku s dráhou a simuluje podmienky pneumatiky lietadla na vozovke. Na RWY pokrytých stlačeným snehom a ľadom sa meranie vykonáva zablokovaným testovacím kolesom so 100% sklzom. Zariadenie CFME preto vykonáva nepretržité meranie trenia medzi kolesom a vozovkou z čoho je odvodený názov takéhoto zariadenia [6].

Výsledky merania sa uvádzajú v každej tretine RWY samostatne. Tie sa označujú veľkými tlačenými písmenami A, B, C. Sekcia A začína vždy od prahu RWY s nižším číselným označením [14].

Zariadenie decelerometer sa používa na RWY kontaminovanej primárne stlačeným snehom, ľadom alebo veľmi tenkou vrstvou suchého snehu [2]. Zásadný rozdiel medzi decelerometrom a ostatnými druhmi zariadení je v tom že meranie koeficientu trenia sa vykonáva len v čase kedy operátor vozidla (vodič) použije brzdy. Použité sú brzdy v maximálnej miere na zabrzdenie každého kolesa vozidla po dobu maximálne jednej sekundy, počítač zmeria koeficient trenia a vodič sa s vozidlom opäť rozbehne na požadovanú rýchlosť [6].

Decelerometer sa preto častokrát označuje aj ako zariadenie na meranie bodového trenia, keďže v jednom okamihu meria trenie len jedného bodu. Takýmto meraním sa získavajú menej presné údaje o trecích podmienkach na RWY a preto sa uprednostňuje použitie zariadení na báze kontinuálneho merania trenia [6]. Meranie takýmto typom vozidla nie je plynulé, vozidlo však napriek svojej akcelerácii a decelerácii vie splniť požiadavky kladené organizáciou ICAO.

3.2. Proces merania

Prevádzkovateľ musí zabezpečiť správnu údržbu pohybových plôch a zamedziť tak nevyhovujúcim brzdným účinkom. Jednotlivé povrchy sa musia minimálne raz ročne podrobiť kalibračnému meraniu na zistenie stavu pozdĺžneho trenia vozovky. V takomto prípade musí byť pred testovaním zabezpečený čistý povrch RWY zbavený novej kontaminácie

[14]. Na kalibračné meranie sa používa zariadenie na kontinuálne meranie trenia so samozmáčacím systémom. Vozidlo si v takomto prípade pred seba na RWY vypustí kontrolované množstvo vody a simuluje tým podmienky na mokrej dráhe [2] [6].

V súlade so snehovým plánom a formátom správy SNOWTAM platným do novembra 2021 sú v správe uvádzané informácie o brzdných účinkoch jednotlivých vzletovo-pristávacích dráh. Podmienky trenia na RWY sú definované predpokladaným brzdným účinkom. Tie sú charakterizované piatimi výrazmi: dobrý, stredný až dobrý, stredný, stredný až zlý, zlý (Obrázok). Terminológia na určenie predpokladaných brzdných účinkov je zverejnená v dokumente PANS-AIM (Doc. 10066), dodatok 4, SNOWTAM Formát [5] [15].

Zmeraný koeficient	Predpokladaný brzdný účinok	Kód
0,40 a viac	Dobry	5
0,39 - 0,36	Stredny až dobrý	4
0,35 - 0,30	Stredny	3
0,29 - 0,26	Stredny až zlý	2
0,25 - a menej	Zly	1

Obrázok 3: Kódové a slovné zobrazenie pre namerané koeficienty trenia. Zdroj: [2].

„Hodnotenie dobrý je relatívna hodnota a má znamenať, že lietadlá nemajú ťažkosti pri smerovom vedení alebo pri brzdení, najmä pri pristávaní.“ [2]

4. Global Reporting Format

Cieľom ICAO je zefektívniť a optimalizovať aktuálne spôsoby hodnotenia stavu RWY. Nová metodológia globalizuje a zjednodušuje systém hlásenia a samotného hodnotenia stavu povrchu vzletovej a pristávacej dráhy. Nové zmeny vstúpia do platnosti 4. novembra 2021 pod spoločným názvom Global Reporting Format (GRF) [1].

Zásadnou zmenou nového formátu ohlasovania stavu RWY je vznik nových pojmov, akými sú nové komplexné označenie stavu dráhy RWYCC a správa o stave povrchu dráhy RCR. Kódové označenie RWYCC jednoducho popíše druh kontaminácie na dráhe a správa RCR upozorní na aktuálny stav RWY, ak dôjde k jej zásadnej zmene v dôsledku prítomnosti vody, snehu, kašovitého snehu či ľadu [16].

4.1. Správa o stave dráhy RCR

Z globálneho pohľadu je ťažké určiť jeden štandardný formát správy opisujúcej stav RWY pre všetky regióny sveta. Napriek tomu bolo snahou ICAO prispôsobiť novú metodológiu užívateľom z celého sveta, keďže jeho aplikácia bude realizovaná aj v krajinách, ktoré sa doposiaľ nikdy nezaoberali otázkou snehu a ľadu na pohybových plochách letiska [13].

Prevádzkovateľ letiska zhodnotí stav RWY, pokiaľ je pokrytá vodou, snehom, ľadom alebo inými formami vody. Vyhodnotí kódové označenie RWYCC a pripraví správu s opisom stavu povrchu RWY. Tá je ďalej podávaná letovej posádke pre zabezpečenie presnejších výpočtov výkonov lietadla [17].

Správa RCR je z tohto dôvodu rozdelená do dvoch sekcií rovnako ako nový formát správy SNOWTAM. Súčasťou prvej sekcie (sekcia výkonnosti letúna) sú okrem povinných údajov ako ICAO označenie letiska, dátum a čas hodnotenia stavu RWY, typ kontaminácie, nižšie číselné označenie hodnotenej RWY a kódové označenie RWYCC aj doplňujúce informácie. Tie musia byť podmienené inou skutočnosťou aby boli uvedené v správe RCR. Medzi tieto informácie patrí percentuálne množstvo kontaminácie na každej tretine RWY alebo jej hĺbka. Tieto údaje sú primárne získavané vizuálnym hodnotením [17].

Prevádzkovateľ získava dáta do druhej sekcie (sekcia situačného povedomia) taktiež z vizuálneho pozorovania. Získané informácie sú vzápätí spracované a vydané ako súčasť druhej časti správy RCR. Pozoruje sa stav pohybových a odbavovacích plôch, vznik snehových valov, či druh použitej látky na zabezpečenie odstránenia kontaminácie [13].

Informácie z druhej časti správy RCR sú dôležité pre zabezpečenie správneho plánovania letu. Vďaka uverejneným informáciám majú piloti lepší prehľad o stave jednotlivých povrchov letiska a vedia zabezpečiť lepšiu prípravu na klesanie, samotné pristátie či odlet.

4.2. Štruktúra posudzovania stavu dráhy RCAM

RCAM (z anglického Runway Condition Assessment Matrix) predstavuje nástroj, ktorý dopĺňa informácie o stave povrchu RWY. Nepredstavuje samostatnú správu, ktorá by priamo posudzovala stav vozovky, ale dokument, ktorý by mal byť vždy spojený s príslušnými prevádzkovými postupmi.

RCAM posudzuje stav RWY z dvoch pohľadov. Určuje aktuálne hodnotenie povrchu dráhy a poukazuje na kritéria, ktorých výsledok predstavuje zníženie hodnotenia stavu RWY (RWYCC). Pokiaľ pozorovanie vykonané personálom letiska nezodpovedá aktuálne vydanému kódovému označeniu RWYCC môže byť vykonaná zmena tohto kódového označenia na základe informácií zo štruktúry RCAM [13].

RCAM predstavuje sériu kritérií, podmienok a významných zmien, ktoré môžu nastať na letisku a ovplyvniť stav povrchu RWY a typ kontaminácie na nej. Výsledkom posudzovania stavu RWY z viacerých pohľadov je kódové označenie RWYCC.

4.3. Kódové označenie komplexného stavu dráhy RWYCC

Cieľom ICAO bolo stanoviť postup pre rýchle a ľahké pochopenie aktuálnej situácie na letisku. Výsledkom posudzovania stavu dráhy predstavuje kódové označenie stavu dráhy RWYCC (z anglického Runway Condition Code), ktorý komplexne opíše výsledky meraní a pozorovaní do číselného kódového vyjadrenia. Znižovanie alebo zvyšovanie hodnoty RWYCC sa priamo viaže ku štruktúre RCAM [13].

Kódové označenie RWYCC sa vydáva spolu s opisom stavu RWY ako súčasť správy RCR. Uvádza sa pre každú tretinu dráhy samostatne oddelené lomkou. Jednotlivé údaje by mali byť zverejnené v smere od menšieho označenia dráhy. Pokiaľ dôjde ku zmene kódového označenia musí byť zabezpečené vydanie novej správy RCR ako aj novej správy SNOWTAM [17]. Zmenu kódového označenia RWYCC ovplyvňuje najmä typ kontaminantu, jeho hĺbka a vonkajšia teplota. Posúdenie stavu dráhy a pridelenie správneho kódu opisuje ICAO dokument

PANS-Aerodromes doc. 9981, druhé vydanie (2016), časť 2, kapitola 1 [17].

4.4. Dosah na letové posádky

Jednou z ďalších pozitívnych zmien súčasťou GRF možnosť letových posádok ohlasovať stav RWY. Pokiaľ letová posádka zaznamená, že povrch dráhy nezodpovedá informáciám vydaným v správe RCR odovzdajú ich poznatky riadeniu letovej prevádzky [13]. Správa je vzápätí odovzdaná prevádzkovateľovi letiska, ktorý zabezpečí vydanie nového kódového označenia RWYCC ako aj vydanie novej správy RCR. Pozmenený údaj RWYCC je potom rozosielaný pilotom pomocou rádiovkej komunikácie. Preposielanie správ RCR bude zabezpečené pomocou rádiovkej komunikácie cez automatický systém ATIS alebo D-ATIS [16].

5. Zhrnutie

ICAO kladie veľký dôraz na bezpečnosť letovej prevádzky [23]. Spôsob hodnotenia stavu pohybových plôch letiska sa zmení so zavedením novej metodológie Global Reporting Format (GRF).

Zavedenie nových správ, nového kódového označenia RWYCC a zmena formátu súčasnej správy SNOWTAM zabezpečí väčšiu presnosť a pravdivosť jednotlivých údajov a informácií.

Cieľom nových zmien je, okrem iného, zabezpečiť presnejší podklad pre výpočet výkonnosti letúnov a jednoduchšiu informovanosť o rozdielnych skutočnostiach oproti bežnej prevádzke. Vďaka týmto zmenám očakáva ICAO lepšiu prevádzkyschopnosť letísk a bezpečnejší chod leteckej dopravy na celom svete.

Referencie

- [1] ICAO, „The New Global Reporting Format for Runway Surface Conditions,“ [Online]. Dostupne na internete: <https://www.icao.int/safety/Pages/GRF.aspx>.
- [2] Ministerstvo dopravy, pôšt a telekomunikácií Slovenskej republiky, „L 14 Letiská I. zväzok, Navrhovanie a prevádzka letísk,“ December 2006. [Online]. ISBN 80-969299-8-4.
- [3] ICAO, „Annex 15, Aeronautical Information services,“ Júl 2016. [Online]. ISBN 978-92-9258-033-9.
- [4] A. Kazda, Letiská - design a prevádzka, Žilina: Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline, 1995. ISBN 80-7100-240-2
- [5] LPS, AIM, „AIP Letecká informačná príručka SR, AD 1.2 Záchraná a hasičská služba a snehový plán,“ [Online]. Dostupne na internete:
- [6] https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ-AD-1.2-sk-SK.html#AD-1.2. [Cit. Február 2021].
- [7] ICAO, „Doc 9137,“ ICAO, Montreal, 2002.
- [8] Uniting aviation ICAO, „Celebrating the history of aeronautical Information services,“ 14 máj 2019. [Online]. Dostupne na internete:
- [9] <https://unitingaviation.com/news/safety/celebrating-the-history-of-aeronautical-information-services/>. [Cit. 7 marec 2021].
- [10] ICAO, „Guidance on the Issuance of SNOWTAM,“ Február 2020. [Online]. Dostupne na internete: <https://www.icao.int/safety/SiteAssets/Pages/GRF/Guidance%20on%20the%20Issuance%20of%20SNOWTAM.pdf>. [Cit. 2021].
- [11] MDV SR, „L 15, Štandardy a odporúčania a postupy Annex 15 k Dohovoru uplatňované v Slovenskej republike,“ August 2020. [Online].
- [12] EUROCONTROL, „Guidelines Operating Procedures AIS Dynamic Data (OPADD),“ 7 December 2020. [Online]. Dostupne na internete:
- [13] <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2020-12/eurocontrol-guidelines-opadd-ed4-1.pdf>.
- [14] MDV SR, „L 10066, Štandardy a odporúčania a postupy Doc 10066 uplatňované v Slovenskej republike,“ 31 August 2020. [Online]. Dostupne na internete: <https://www.mindop.sk/uploads/extfilesnew/doprava/le-tecka/legislativa/L%2010066/pr%C3%ADloha%20%201-L%2010066.pdf>.
- [15] ICAO, „doc. 10066 Aeronautical Information Management,“ August 2018. [Online].
- [16] ICAO, „Circular 355 - Assessment, Measurement and Reporting of Runway Surface Conditions,“ 2019. [Online]. Dostupne na internete:
- [17] <https://www.bazl.admin.ch/bazl/en/home/suche.html#circul%20355>. ISBN 978-92-9258-719-2.
- [18] EASA, „Easy Access Rules from Aerodromes - Regulation (EU) No 139/2014,“ November 2020. [Online]. Dostupne na internete:
- [19] <https://www.easa.europa.eu/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-aerodromes-regulation-eu-no-1392014>.
- [20] ICAO, „Annex 14, Aerodromes,“ Júl 2018. [Online]. ISBN 978-92-9258-483-2.
- [21] DFS Deutsche Flugsicherung, „AIP AIC - National Implementation of the Global Reporting Format (GRF) for Runway Surface Conditions,“ 2020.
- [22] ICAO, „Doc 9981, PROCEDURES FOR AIR NAVIGATION SERVICES - Aerodromes, second edition,“ 16 November 2016. [Online]. Dostupne na internete: <https://skybrary.aero/bookshelf/books/3597.pdf>. ISBN 978-92-9258-123-7.
- [23] 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.
- [24] Novák, A., Havel, K., Janovec, M. 2017. Measuring and testing the instrument landing system at the airport Žilina. Transportation Research Procedia 28, 117-126

THE AIRSPACE OF SR AND ITS PROTECTION

VZDUŠNÝ PRIESTOR SR A JEHO OCHRANA

Natália Fábryová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
fabryova5@stud.uniza.sk

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

Abstract

The paper deals with international regulations of airspace of the Slovak republic and its protection. The paper is focused on the sovereignty airspace and free route airspace. The state has complete and absolute sovereignty over the airspace located above its territory. Airspace protection is important for ensuring territorial inviolability of the Slovak republic. There are defined the categories and classes of airspace. The last chapter consist of a NATO Integrated Air and Missile Defence System, its history and especially its function. In this chapter is defined the idea of „air policing“, which means the protection of airspace itself that is performed during the peace. In this part is described the position of emergency fighter pilots at Airport Sliac and model situations, but also the real situations, when Slovak emergency fighter pilots had to interfere against the aircraft that lost connection with air traffic management.

Keywords

Airspace, airspace protection, Air Force's tasks, renegade of airspace, Airspace protection system, NATINAMDS.

1. Úvod

Jedným z cieľov bakalárskej práce je vymedzenie medzinárodnoprávnej úpravy vzdušného priestoru. Bolo definované, že vzdušný priestor je súčasťou územia štátu, neskôr sa definovali horizontálne a vertikálne hranice vzdušného priestoru. Postupne sa predložili aj pravidlá pre vstup, výstup či pobyt cudzieho lietadla na území štátu. V tejto časti opisujeme aj úpravu žiadostí a povolení pre lietadlá, ktoré na území Slovenskej republiky vykonávajú pravidelné a nepravidelné medzinárodné lety.

Ďalším cieľom práce je oboznámiť čitateľa o ochrane vzdušného priestoru. Na území Slovenskej republiky sú to Vzdušné sily Slovenskej republiky. Ich hlavnou úlohou je nepretržitá ochrana vzdušného priestoru. Ďalšou časťou, ktorou sa v bakalárskej práci zaoberáme je definícia narušiteľa vzdušného priestoru, teda vzdušný objekt, ktorý porušuje predpis upravujúci civilné letectvo daného štátu alebo nám jeho zámer nie je známy. Následne sa venujeme aj rozdeleniu vzdušného priestoru na riadené a neriadené oblasti, zakázané či obmedzené priestory a jeho triedy.

Posledným cieľom bakalárskej práce je oboznámiť o systéme ochrany vzdušného priestoru so „Systémom integrovanej protivzdušnej a protiraketovej obrany NATO“. Do tohto systému patria všetky členské krajiny organizácia NATO. Na záver sme v práci opísali reálne zásahy slovenských pohotovostných stíhačov.

2. Medzinárodnoprávna úprava vzdušného priestoru

Vzdušný priestor môžeme definovať ako priestor vyplnený vzduchom, v ktorom prebieha ľudská činnosť. Zemské časti ako

pevnina, vodstvo a vzdušný priestor sú súčasťou zemskej atmosféry, ktoré sú navzájom prepojené a nemôžeme hovoriť o jednej z nich ako o prevládajúcej alebo nadradenej. Avšak môžeme povedať, že všetky druhy činnosti sú vykonávané vo vzdušnom priestore alebo sú s ním spojené. To môžeme odôvodniť na základe toho, že spodná hranica vzdušného priestoru začína na zemskom povrchu. Teda človek, stroje, stavby atď., ktoré sa nachádzajú na vodnej hladine alebo pevnine patria do vzdušného priestoru [1] [2] .

Donedávna si jednotlivé štáty neuviedomovali skutočnosť, že využívaním vzdušného priestoru, priliehajúceho k zemskému povrchu, si v skutočnosti vstupujú do vzájomných vzťahov [1].

3. Ochrana vzdušného priestoru

Ochrana vzdušného priestoru je neoddeliteľnou súčasťou zabezpečenia územnej nedotknuteľnosti Slovenskej republiky. Ochranu vzdušného priestoru vykonávajú Vzdušné sily Ozbrojených síl Slovenskej republiky [3].

3.1. Úlohy vzdušných síl SR pri vykonávaní ochrany vzdušného priestoru

Tým, že Slovensko je členskou krajinou NATO (North Atlantic Treaty Organization), úlohy sa rozdeľujú na dve hlavné úlohy, a to nadnárodné úlohy a národné úlohy. Nadnárodné úlohy sú definované záväzkami SR voči NATO a v rámci tejto organizácie si plní svoje úlohy. Následne sa jedná výlučne o slovenské úlohy, ktoré SR rieši, čo však neznamená, že v určitých momentoch môže nastať situácia, že tieto úlohy sa navzájom prelínajú alebo sa navzájom podporujú [4].

3.1.1. *Nadnárodné úlohy*

Najhlavnejšou úlohou je ochrana integrovaného vzdušného priestoru NATO v rámci operácií v systéme NATINAMDS (NATO Integrated Air and Missile Defence System) [4].

Druhou veľmi dôležitou úlohou vykonávanou vzdušnými silami v rámci ochrany vzdušného priestoru je kontrola dodržiavania letovej prevádzky. V tomto prípade ide o to, že vzdušný priestor je z prevažnej časti pod kontrolou civilných zložiek, ale s tým, že ozbrojené sily teda ich pohotovostný režim tam má úlohy, ktoré sa týkajú kontroly dodržiavania letovej prevádzky, tzn. majú povinnosť zabezpečiť, aby do vzdušného priestoru nevletelo lietadlo bez povolenia [4].

Treťou veľmi dôležitou úlohou je nepretržité vykonávanie prieskumu určeného vzdušného priestoru, tzn. že ozbrojené sily majú svoju radarovú techniku s ktorou neustále vykonávajú prieskum vzdušného priestoru [5].

Ďalšou dôležitou úlohou je zakročovanie proti vzdušným objektom, ktoré narušili vzdušný priestor alebo poskytovanie pomoci lietadlám, ktoré sa ocitli v núdzi [4].

3.1.2. *Národné úlohy*

Národnou úlohou je spolupráca s integrovaným záchranným systémom tzn., že je to spolupráca s hasičským zborom, policajným zborom a rýchlou záchrannou zdravotníckou službou. Silové zložky medzi sebou spolupracujú, aby plnenie úloh bolo čo najefektívnejšie, či už sa jedná o zabezpečenie letísk alebo zadržanie cudzieho lietadla, ale hlavne čo sa týka ochrany integrity SR [4].

3.2. *Spôsob ochrany vzdušného priestoru*

Aby sa zabezpečila ochrana vzdušného priestoru, tak sa na to využívajú rôzne prostriedky. Ochrana vzdušného priestoru chápeme už ako samotný prieskum vzdušného priestoru, tzn. že vo vzduchu ešte nelietajú žiadny stíhači, ale už len to, že sa neustále „točia“ radary a vykonávajú prieskum vzdušného priestoru, už to je súčasťou ochrany vzdušného priestoru [4].

3.3. *Narušiteľ vzdušného priestoru*

Od roku 2017 Slovenská republika a Česká republika (ČR) spolupracujú pri ochrane vzdušného priestoru nad Slovenskom a Českom. Na základe Zmluvy medzi SR a ČR o spolupráci pri vzájomnej ochrane vzdušného priestoru môžu piloti vojenských lietadiel z jednej krajiny zasahovať proti narušiteľovi vzdušného priestoru aj na území druhého štátu spolu s použitím zbraní. K vzájomnej ochrane vzdušného priestoru môže dôjsť aj počas dočasnej neschopnosti krajiny si zabezpečiť ochranu vzdušného priestoru. Ďalej môže nastať situácia, kedy by civilné lietadlo uniesli teroristi a plánovali by s ním zaútočiť [6].

Narušiteľa vzdušného priestoru môžeme rozdeliť do troch kategórií:

- podozrivý narušiteľ;
- pravdepodobný narušiteľ;
- potvrdený narušiteľ [4].

Pokiaľ vzdušný objekt chce vstúpiť do vzdušného priestoru SR, ale zároveň aj do vzdušného priestoru iných krajín, musí spĺňať určité kritéria. Orgány riadenia letovej prevádzky v ktorejkoľvek krajine musia mať o lietadle všetky relevantné informácie, teda musia vedieť jeho plánovaný let (čo plánuje vykonávať vo vzdušnom priestore) [4].

Ak by nastala situácia, kedy by lietadlo, ktoré nemá cez vzdušný priestor SR letový plán, nie je na spojení alebo vojenské lietadlo, ktoré síce letový plán má ale nemá špeciálne diplomatické povolenie, tak civilné zložky riadenia letovej prevádzky túto situáciu riešia, aby lietadlo dostalo povolenie na prelet vzdušným priestorom alebo lietadlo jednoducho odklonia [4].

3.4. *Rozdelenie vzdušného priestoru*

Pretože vzdušný priestor každého štátu je využívaný civilným aj vojenským letectvom, prevádzka musí byť zabezpečená tak, aby sa lietadlá navzájom neobmedzovali. Pre vojenskú prevádzku existujú vojenské koridory, čím dochádza k menšiemu styku s civilnou prevádzkou. Tieto koridory môžeme nájsť na miestach, kde nevedú trasy civilných lietadiel. Pre vojenské využitie vzdušného priestoru sa často používa aj množstvo obmedzených priestorov. Pokiaľ sa let vykoná v obmedzenej alebo zakázanej časti vzdušného priestoru dochádza k priestupku v civilnom letectva [3] [6] [18].

Medzi obmedzené priestory môžeme zaradiť **dočasne vymedzený priestor** (Temporary Reserved Area – TRA), v ktorom môže vykonávať letovú činnosť len vopred určený prevádzkovateľ, avšak po vzájomnej dohode cezeň môže preletieť aj iný prevádzkovateľ. **Dočasne vyhradené priestory** (Temporary Segregated Areas – TSA), v ktorom môže letovú činnosť vykonávať len vopred určený prevádzkovateľ a prelet iného prevádzkovateľa nie je povolený. Tieto priestory využívajú najmä lietadlá, ktoré vykonávajú neštandardnú činnosť ako napr. súťaže. Ďalším je **zakázaný priestor**, v ktorom je zakázané vykonávať lety z dôvodov vojenských alebo strategických charakterov. Zakázaný priestor je však určený do určitej výšky, čím v niektorých situáciách nastáva možnosť nadletieť tento priestor. Na Slovensku ide o priestory nad Mochovcami, Jaslovskými Bohunicami a pod. Posledným priestorom je **nebezpečný priestor**, kde je riziko nebezpečia pre prelet lietadiel ale nie je zakázané v tomto priestore lietať [7] [8].

Vzdušný priestor môžeme rozdeliť do dvoch rovín a to do vertikálnej a horizontálnej roviny. Jednotlivé **letové informačné oblasti** (FIR), ktoré sa ďalej delia na menšie sektory sa nachádzajú v horizontálnom delení. Tieto oblasti sú väčšinou rovnaké s hranicami štátov nad ktorými sú zriadené. Pri štátoch s väčšou rozlohou môže nastať situácia, kedy tento štát má viac letových informačných oblastí. Riadenie vzdušného priestoru môže byť pridelené aj pobrežným štátom a to vtedy, keď sa oblasti vzdušného priestoru nachádzajú nad morom alebo oceánom [7].

Ďalej môžeme priestory vzdušného priestoru deliť na **riadené a neriadené oblasti**. Riadené oblasti sú tie, v ktorých sa poskytujú služby riadenia letovej prevádzky [7] [17].

Tento priestor ďalej delíme na:

- **riadená oblasť** (Control Area - CTA) – akákoľvek oblasť vzdušného priestore, kde riadiaci letovej prevádzky riadi letovú činnosť [7];

- **koncová riadená oblasť** (Terminal Area – TMA) – oblasť vzdušného priestoru riadená riadiacim letovej prevádzky, ktorá sa nachádza v okolí letiska. Oblasť je dôležitá kvôli ochrane prilietavajúcich a odlietavajúcich lietadiel [7] [8];
- **riadený okrsok letiska** (Controlled Area – CTR) – oblasť vzdušného priestoru, kde je letová činnosť riadená riadiacim letovej prevádzky. Okrsky sú charakteristické pre riadenie letiskového pohybu, lietadiel lietajúcich na tomto okruhu a taktiež pre samotné riadenie vzletov a pristátí. Na Slovensku sú riadenými okrskami letiska Bratislava, Košice, Poprad, Sliač, Piešťany a Žilina [7] [8].

Neriadená oblasť vzdušného priestoru je tá, kde sa neposkytujú služby riadenia letovej prevádzky [13].

Vzdušný priestor ďalej môžeme rozdeliť do tried vzdušného priestoru ktorých je sedem. Tieto triedy sú rozdelené podľa pravidiel vykonávania letov a poskytovaných služieb a sú označované písmenami abecedy A – G. Na Slovensku sa však používajú len štyri triedy vzdušného priestoru, C, D, E, G. Vzdušný priestor kategórie C, D a E ja riadený vzdušný priestor, tzn. že letová činnosť je vykonávaná len s pokynmi riadiacim letovej prevádzky [7].

4. Systém ochrany vzdušného priestoru

Slovenská republika v roku 2004 vstúpila do Organizácie Severoatlantickej zmluvy (NATO – North Atlantic Treaty Organization), čím sa zaviazala aj prispievaním do Systému integrovanej protivzdušnej a protiraketovej obrany NATO (NATO Integrated Air and Missile Defence System – NATINAMDS). Podstatou tohto systému je nepretržitá ochrana národných vzdušných priestorov všetkých európskych členských štátov NATO a Turecka. Systém kontroluje Spojenecké veliteľstvo vzdušných síl, ktorého sídlo je v Nemecku na leteckej základni Ramstein [9] [10] [11].

4.1. Systém integrovanej protivzdušnej a protiraketovej obrany NATO

Systém sa vyvíja už od 60. rokov minulého storočia. Počas týchto rokov prešiel a bol upravený niekoľkými zmenami a ako sa vyvíjal menili sa aj názvy. Na začiatku to bol názov NATINADS (NATO Integrated Air Defence System), ale v roku 2013 nastala aj integrácia pozemných systémov protivzdušnej obrany, tzn. že sa nejedná len o letectvo, ale aj o protiraketovú obranu [10].

Členské štáty NATO a NATINAMDS sa nachádzajú v Európe, ale aj mimo Európu (Island, Spojené štáty Americké a Kanada). Systém NATINADS a potom jeho nástupca NATINAMDS funguje iba v Európskom vzdušnom priestore, do ktorého patrí aj Island. To znamená, že v USA a Kanade tento systém nefunguje aj keď sú členmi NATO. Hlavne preto, pretože situácia v USA a Kanade je iná a majú svoj vlastný systém NORAD (North American Aerospace Defense System) [4].

Tento systém vznikol v období Studenej vojny z dôvodu, pokiaľ by sa východný blok rozhodol zaútočiť [4].

Po konci Studenej vojny sa eminentná hrozba napadnutia znížila. Prišla integrácia bývalých členských krajín Varšavskej zmluvy ako Maďarsko, Poľsko a Česká republika do NATO. Tým, že krajiny vstúpili do NATO, tak sa zároveň vzdušný priestor NATO rozšíril

a NATINAMDS začal fungovať aj pre tieto krajiny. Následne do systému vstúpila SR spolu s Pobaltskými krajinami [4].

Systém NATINAMDS bol na začiatku prioritne braný ako systém protivzdušnej obrany proti vojenským hrozbám. Systém sa však musel aktualizovať s tým, že môžu byť asymetrické hrozby, ktoré môžu prísť z civilnej sféry [4].

4.1.1. Fungovanie NATINAMDS

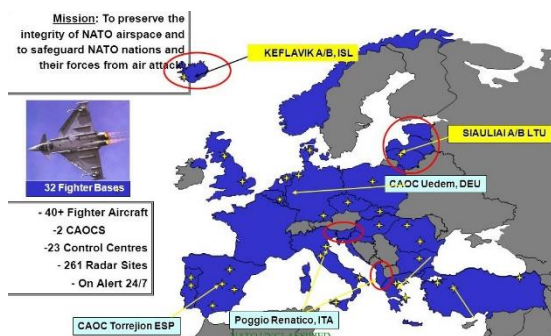
Hlavnou úlohou je zabezpečenie spoločnej protivzdušnej obrany vzdušného priestoru aliancie s tým, že sa to vykonáva len v rámci Európy [4].

Systém, je integrovaný, lebo NATO ako vojenská organizácia má veľmi málo svojich vlastných vojenských prostriedkov. Lietadlá so slovenským alebo anglickým znakom sú lietadlá daných krajín, ale nie sú to NATO lietadlá. Tým pádom, že NATO ako organizácia sama o sebe nedisponuje s týmito prostriedkami, tak zabezpečenie funkčnosti systému NATINAMDS je urobené tak, že jednotlivé štáty NATO do tohto systému prispievajú svojimi prostriedkami (radarová technika, stíhacie lietadlá). Na to, aby systém fungoval efektívne je veľmi veľa členských štátov NATO, ktoré majú fungovať v rámci jedného systému. Preto je potrebné mať jednu sadu pravidiel pre všetky krajiny a jednotné velenie pre všetky krajiny. Členské štáty, ktoré pristúpili do NATINAMDS deklarovali určité prostriedky, ktoré mali v rámci vzdušných síl pod priamym velením NATO. Existuje národná línia velenia a medzinárodná línia velenia. Aby nevznikli konflikty, tak sú presne určené pravidlá, kedy kto velí [4].

4.1.2. Air policing

V rámci systému NATINAMDS sa vykonáva aj tzv. air policing, čo je ochrana vzdušného priestoru. Poznáme aj obranu, ale obrana a ochrana sú dve rozdielne veci. Ochrana vzdušného priestoru sa vykonáva v mierových podmienkach, kedy je všetko v poriadku, nie je žiadna politická kríza, je mierový stav. Avšak môže nastať situácia, kedy mierový stav nebude, ale bude napr. vojnový stav v rámci NATO tiež nazývané kríza a vojna. V tomto období sa nevykonáva ochrana vzdušného priestoru, ale obrana vzdušného priestoru [4].

Na nasledujúcom obrázku (obrázok 2) môžeme vidieť priestor zodpovednosti, tzv. air policing area (APA). Modrou farbou sú označené členské krajiny NATO. Priestor zodpovednosti sa delí na dve časti. Severná časť so sídlom v Nemeckom Uedeme, do ktorej patria štáty Dánsko, Island, Nórsko, Veľká Británia, Nemecko, Česká republika, Slovenská republika, Poľsko, Estónsko, Lotyšsko, Litva, Luxembursko, Holandsko a Belgicko. A južná časť so sídlom v Torrejon v Španielsku [4].



Obrázok 1: Priestor zodpovednosti. Zdroj: <https://slideplayer.com/slide/3125191/>

V priestore zodpovednosti sever vykonáva velenie operáciám spoločné stredisko riadenia vzdušných operácií tzv. CAOC (Combin Air Operation Center). V tomto priestore zodpovednosti je vykonávané velenie pre všetky vyššie uvedené krajiny v rámci NATINAMDS s riadiaceho centra. V južnej časti je velenie vzdušným operáciám pod NATO vykonávané z ďalšieho CAOC-u, ktoré sa nachádza ako je už spomínané v španielskom Torrejone. To znamená, že sú dve veliteľské NATO stanovišťa, ktoré sú zodpovedné za svoje oblasti. Na juhu je to španielsky Torrejon a na severe nemecký Uedem. Tieto dve veliteľstvá majú nad sebou veliteľstvo vzdušných síl NATO, ktoré má sídlo v nemeckom Ramstaine. Z tohto nám vyplýva, že napr. operáciám nad Slovenskom priamo velí spoločné stredisko vzdušných operácií v nemeckom Uedeme [4].

4.2. Pohotovostné lietadlá na letisku Sliac

V pohotovostnom režime (QRA – Quick Reaction Alert) sú tri stíhacie lietadlá MiG-29AS, stíhací personál, radary s obsluhou, velenie a komunikačné systémy. Jedno zo stíhacích lietadiel je vždy záložné. Stíhacie lietadlá dokážu vzlietnuť v krátkom čase a zasiahnuť proti narušiteľovi vzdušného priestoru alebo pomôcť lietadlu v núdzi [9] [12].

Keď sa lieta vo vzdušnom priestore musia sa dodržiavať presne stanovené pravidlá. Preto má pohotovostné stíhacie lietadlo zapnutý presne určený mód odpovedača. Každá krajina má pridelený špeciálny kód, ktorý bude označovať pre všetky orgány riadenia letovej prevádzky, že nejde len o pohotovostné stíhacie lietadlo tzn. vojenské ozbrojené lietadlo, ale že ide o vyzbrojené stíhacie lietadlo, ktoré letí na reálny zásah. V tomto prípade je prioritou, aby sa toto stíhacie lietadlo dostalo, v čo v najkratšom čase zo zeme ku danému lietadlu. Piloti nebudú letieť obchádzkou alebo okolo nejakých vyhradených priestorov. Tu je prácou orgánov riadenia letovej prevádzky, aby vyprázdnili vzdušný priestor, aby pohotovostným stíhacím lietadlám nevletelo nič do cesty. Potrebujú letieť priamo, aby sa čo najrýchlejšie dostali k danému lietadlu [4].

Stíhači musia byť nachystaní neustále v časovej norme na zásah. Za štandardných podmienok sú pohotovostní stíhači v pätnást minútovej hotovosti (RS 15 – Readiness State). Táto hotovosť závisí od toho s akým typom lietadla sa letí. Niektorým stíhacím lietadlám trvá dlhšie, kým naštartujú. V dnešnej dobe, aj keď sa používa veľké množstvo typov stíhačiek, sa doba hotovosti ustálila na pätnástich minútach. Tých 15 minút znamená, že piloti, ktorí odpočívajú v určenej miestnosti a ozve sa siréna, tak do 15 minút musia byť vo vzduchu. Je to jediné kritérium [4].

4.2.1. Skutočné zásahy slovenských stíhacích lietadiel MiG-29

Jeden z reálnych zásahov, ktoré vykonávali slovenské stíhacie lietadlá MiG-29 bol v roku 2017, kedy lietadlo Boeing 737-8 spoločnosti SunExpress Deutschland stratilo spojenie nad slovenským územím. V takejto situácii pohotovostní stíhači museli vykonať ostrý vzlet. K lietadlu sa približovali zo zadnej polo sféry [13].

Jeden z ďalších skutočných zásahov bol v roku 2019, kedy talianske lietadlo Airbus 320, ktoré letelo na trase Miláno – Charkov nad slovenským územím stratilo spojenie s orgánmi riadenia letovej prevádzky [14] [19].

Stíhači sa približujú zo zadnej strany, lebo môže ísť o lietadlo, ktoré je potvrdené ako unesené alebo je silné podozrenie, že je unesené. Preto akákoľvek prvotná identifikácia lietadla a zistenie čo sa deje sa vykonáva zo schovanej pozície. Stíhač priletí k nemu zozadu, no stále sa lieta vo dvojici. Číslo jeden (SK 1) je veliteľ lietadla a číslo dva (SK 2). Veliteľ sa priblíži k lietadlu, samozrejme za dodržania všetkých bezpečnostných pravidiel a vykoná identifikáciu s tým, že SK 2 celú situáciu monitoruje zozadu, aby bolo schopné zasiahnuť, ak by to bolo nutné. Keď pilot potvrdí dané lietadlo, tak sa robí posledný úkon, ktorý môže byť vykonávaný na civilné lietadlo pod velením NATO a to *cockpit check*. Cockpit check sa vykonáva kvôli zisteniu, čo sa reálne deje v kabíne. Ako náhle sa vykoná cockpit check a pilot dopravného lietadla nenadviaže spojenie, v tomto momente z NATO strany sú vyčerpané všetky povolené misie a nastane situácia, kedy stíhacie lietadlá vo vzduchu sú prevedené z velenia NATO pod národnú líniu velenia. Je nutné získať pozornosť pilota, tzn. že sa začína eskalovať. Ako prvé čo, sa môže spraviť je to, že jedno stíhacie lietadlo priletí pred neho, aby bola zaistená najlepšia viditeľnosť z pilotnej kabíny daného lietadla a piloti mu začínajú signalizovať, aby ich nasledoval a to najprv svetlami a potom kývaním krídlami. Ak ani toto nefunguje, tak sa stíhačom vydá príkaz na výstražnú paľbu, ktorá sa vykonáva palubným kánonom mimo priestor lietadla ale tak, aby to pilot dopravného lietadla videl. Pokiaľ všetky možnosti zlyhajú, tak sa rieši posledná možnosť a to prerušenie letu. Avšak po ktoromkoľvek úkone, keď pilot začne nasledovať stíhačov, tak sa situácia rieši intervenovaním lietadla do kurzu, aby sa zabezpečilo, že lietadlo je pod kontrolou a následne ho stíhači odvedú na letisko, ktoré je určené na intervenciu lietadiel. Následne v spolupráci s integrovaným systémom tam čakajú policajné a ostatné zložky, ktoré sú potrebné na to, aby lietadlo po pristáť bolo okamžite zaistené. Hlavne kvôli tomuto je dôležitá civilná a vojenská spolupráca [4].

5. Záver

Jedným z hlavných cieľov práce bolo zviditeľniť samotný Systém integrovanej protivzdušnej a protiraketovej obrany NATO. Systém je dôležitý hlavne pre správne fungovanie ochrany vzdušného priestoru, nie len Slovenskej republiky ale všetkých členských štátov NATO. Je úspešný na základe vykonávaných spoločných cvičení, vzájomnou výmenou informácií, samotných pohotovostných lietadiel s adekvátne vycvičenými pilotmi ale hlavne jednotným a dynamickým velením vrchného veliteľa NATO. Myšlienka integrovaného systému protivzdušnej a protiraketovej obrany NATO je postupne napĺňaná vytváraním podmienok pre plnohodnotné integrovanie národných systémov ochrany vzdušného priestoru do jednotného systému so spoločným priestorom zodpovednosti členských krajín NATO.

V súčasnosti Slovenská republika využíva stíhacie lietadlá MiG-29, avšak v roku 2023 by mali byť dodané Slovensku nové stíhacie lietadlá F-16 Fighting Falcon. Pri rozhodnutí, že Slovenská republika bude kupovať nové stíhacie lietadlá F-16, musel vtedajší minister obrany predložiť alternatívy ako bude zabezpečená ochrana vzdušného priestoru, kým budú nové lietadlá dodané. Lietadlá F-16 sa kupovali hlavne kvôli tomu, že majú omnoho väčšie schopnosti a bojový potenciál ako terajšie MiG-29. Ale tiež preto, aby Slovenská republika nemusela dovoliť iným ozbrojeným silám využívať slovenské vojenské letiská. V tomto prípade by nastala situácia, kedy by Slovensko stratilo obranyschopnosť a suverenitu vo svojom vzdušnom priestore a na letiskách. Pre nové stíhačky je potrebné zabezpečiť nový vyškolený letecký personál a je potrebná úprava letiska Sliač.

Referencie

- [1] ČAPEK, J. – KLÍMA, R. – ZBÍRALOVÁ, J. 2005. *Civilní letectví ve světle práva*. Praha : LexisNexis CZ s. r. o., 2005. 361 s. ISBN 80-86199-95-9.
- [2] NOVÁK, A. – NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2010. *Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva*. Žilina EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2010. 125 s. ISBN 978-80-87284-05-6
- [3] ZÁKON č. 321/2002 Z. z. 2002. *Zákon o ozbrojených silách Slovenskej republiky*. [online]. [cit. 25.02.2021]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2002/321/>.
- [4] Ozbrojené sily Slovenskej republiky
- [5] ZÁKON č. 143/1998 Z. z. 1998 *Zákon o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov*. [online]. [cit. 29.12.2020]. Dostupné na internete: <https://www.epi.sk/zz/1998-143>.
- [6] NR SR. 2009. *Dôvodová správa*. [online]. [cit. 5. 3. 2021] Dostupné na internete: <https://www.nrsr.sk/web/Dynamic/DocumentPreview.aspx?DocID=439407>
- [7] PRUŠA, J. a kol. 2015. *Svět letecké dopravy. II. rozšířené vydání*. Praha : Galileo Training s. r. o., 2015. 647 s. ISBN 978-80-260-8309-2
- [8] AIRLINERS. 2017 *Vzdušný priestor – rozdelenie a základné charakteristiky*. [online]. [cit. 1.3.2021]. Dostupné na internete: <https://www.airliners.sk/vzdusny-priestor-rozdelenie-zakladne-charakteristiky/>.
- [9] NATO. 2019. *NATO Integrated Air and Missile Defence*. [online]. [cit. 25.02.2021]. Dostupné na internete: https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_8206.htm
- [10] MOSR. *Ochrana vzdušného priestoru – systém NATINAMDS*. [online]. [cit. 25.02.2021]. Dostupné na internete: <https://www.mosr.sk/ochrana-vzdusneho-priestoru-system-natinamds/>.
- [11] NRSR. 2009. *Dôvodová správa*. [online] [cit. 5.3.2021] Dostupné na internete: <https://www.nrsr.sk/web/Dynamic/DocumentPreview.aspx?DocID=332284>.
- [12] VVZS. *Veliteľstvo vzdušných síl OS SR*. [online] [cit.5.3.2021] Dostupné na internete: <https://vvzs.mil.sk/86/>.
- [13] MOSR. 2017. *Nemecké lietadlo stratilo nad územím Slovenska spojenie, stíhacie lietadlá MiG-29 ho sprevádzali až do Českej republiky*. [online] [cit. 6.5.2021] Dostupné na internete: <https://www.mosr.sk/39998-sk/nemecke-lietadlo-stratilo-nad-uzemim-slovenska-spojenie-stihacie-lietadla-mig-29-ho-sprevadzali-az-do-ceskej-republiky/>.
- [14] MOSR. 2019. *Talianske civilné lietadlo stratilo nad územím Slovenska spojenie, stíhacie lietadlá MiG-29 ho sprevádzali po ukrajinskú hranicu*. [online] [cit. 6. 5. 2021] Dostupné na internete: <https://www.mosr.sk/44898-sk/talianske-civilne-lietadlo-stratilo-nad-uzemim-slovenska-spojenie-stihacie-lietadla-mig-29-ho-sprevadzali-po-ukrajinsku-hranicu/>.
- [15] KANDERA B. a kol. 2015. *Letecký zákon a postupy ATC*. Bratislava : DOLIS, 2015. 302 s. ISBN 978-80-8181-018-3.
- [16] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ A. 2015. *International civil aviation regulation*. Bratislava : DOLIS, 2015. 150 s. ISBN 978-80-8181-011-4.
- [17] 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
- [18] Havel, k a kol., 2005. *Základný kurz pre personál technického zabezpečenia letových prevádzkových služieb*, Bratislava : LPS SR,, 2005.
- [19] Novák, A., 2015. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5

Natália Fábryová – narodená 6. mája 1999 v Dolnom Kubíne, v roku 2018 absolvovala Obchodnú akadémiu v Dolnom Kubíne. V roku 2018 nastúpila na Žilinskú univerzitu v Žiline v odbore letecká doprava.

WEATHER INFLUENCE ON FLIGHT IN MOUNTAIN TERRAIN

VPLYV POČASIA NA LET V HORSKOM TERÉNE

Róbert Galko
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
rogalko@gmail.com

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

Abstract

The aim of the paper is to approach and get acquainted with meteorological elements that occur in mountain areas and how their occurrence affects the fluidity and safety of air traffic. The first part of the work was devoted to the history of observing meteorological conditions together with the development of monitored variables, their measurement scales and units used. Subsequently, climatology and meteorology were specified as scientific disciplines and weather in general. Furthermore, in the work we discussed in more detail the part of the atmosphere where the biggest changes in the weather and its creation take place. To illustrate the importance of monitoring and not underestimating meteorological phenomena, we emphasized the failure of the human factor in the most tragic aviation accident that occurred on the island of Tenerife. In the penultimate part of the theoretical part, we paid attention to the meteorological elements themselves, which have the greatest impact on aviation in mountainous areas. In the last theoretical part, we talked about aerial weather reports, which we also decoded. In the practical part, we characterized the airport Poprad-Tatry in terms of location in relation to the surrounding mountains and observed how the investigated meteorological elements affect the area.

Keywords

Meteorological elements. Atmosphere. Weather. Affect. Mountain areas. Turbulence. LZTT.

1. Úvod

V tejto bakalárskej práci sa v teoretickej časti venujeme klimatológii a meteorológii, ako sa jednotlivé vedné disciplíny historicky vyvíjali, čím sa zaoberajú a aké prvky sledujú. Neskôr rozoberáme vertikálne rozdelenie atmosféry z pohľadu, kde sa odohrávajú najhlavnejšie zmeny v počasí a miesta, kde zmeny počasia najviac vplývajú na let. V spojení s rozoberajúcimi meteorologickými prvkami spomíname najtragickejšiu leteckú nehodu v histórii, aby sme poukázali na fatálnosť nedbanlivosti voči pozorovaniu meteorologických prvkov a ich predpovedaniu na leteckú dopravu. Neskôr sa v práci už podrobne zaoberáme jednotlivými meteorologickými prvkami, ktoré vplývajú na let v horskom teréne. V praktickej časti sa venujeme charakteristike letiska Poprad-Tatry. Nahliadneme do jeho histórie, následne sa zameriavame na výskyt spomínaných meteorologických prvkov a ich vplyv na samotný let v horskom teréne. Pre grafické zobrazovanie meteorologických úkazov používame internetové portály prístupné bežnému užívateľovi.

2. Klimatológia, meteorológia, počasie

V letectve je pozorovanie, meranie a zaznamenávanie jednotlivých javov, ktoré sa dejú v zemskej atmosfére, mimoriadne dôležité. Akékoľvek namerané výkyvy počasia musíme zaznamenať, vyhodnotiť a oboznámiť s nimi letovú posádku v jej blízkosti. Veľké výkyvy v počasí priamo ovplyvňujú let v takýchto oblastiach. Na meranie jednotlivých zmien nám slúžia meteorologické stanice. Profesionálne meteorologické stanice, ktoré poskytujú informácie pre letectvo, sa nachádzajú

na letiskách Bratislava, Sliač, Piešťany, Žilina, Poprad-Tatry a Košice. Vydávajú meteorologické správy, ktoré obsahujú dôležité informácie o jednotlivých zmenách počasia a aj o ich časovej zmene.

Klimatológia je veda, ktorá sa zaoberá štúdiom zemskeho podnebia z globálneho alebo z územného hľadiska. Vysvetľuje a popisuje jednotlivé úkazy, ktoré sa vyskytujú na Zemi. Definuje, čo je podnebie a definuje jednotlivé klimatické oblasti podľa pozorovaných úkazov z historického hľadiska, jej výkyvmi v minulosti a aj v súčasnosti v konkrétnych oblastiach. Vďaka pozorovaným a zaznamenaným zmenám vieme určiť, aké možné zmeny v podnebí v danej oblasti môžu nastať v blízkej budúcnosti. Táto vedná disciplína sleduje všetky parametre podnebia. Podnebie, alebo inak nazvané klíma, definujeme ako režim počasia s dlhodobým časovým charakterom. V klimatológii sa stretávame s rôznymi klimatickými prvkami. Na základe ich štatistických vlastností z merania a pozorovania meteorologického prvku ako je vlhkosť dážď, teplota a iné, vieme využiť tieto informácie napríklad na priemernú mesačnú alebo ročnú teplotu vzduchu, vlhkosť vzduchu, zrážky a iné.

Meteorológia je veda, ktorá sa zameriava na skúmaním javov a prebiehajúcich dejov v zemskej atmosfére. Zaoberá sa skúmaním zemskej atmosféry, to zahŕňa napríklad jej zloženie, celkový teplotný režim priamo v atmosfére alebo na zemskom povrchu, režim vlhkosti, obecnú cirkuláciu v atmosfére, elektrické, optické a akustické javy. Pre potreby pozorovania meteorologických prvkov vznikli tzv. meteorologické stanice. Na meranie sa používajú kalibrované prístroje, ktoré s veľkou

presnosťou určujú hodnoty jednotlivých meteorologických prvkov. Meteorologické prvky definujú stav atmosféry z fyzikálneho hľadiska a aj samotné atmosférické javy. Tieto jednotlivé meteorologické prvky spolu charakterizujú počasie. Medzi prvky zaraďujeme napríklad slnečné žiarenie, teplotu vzduchu, teplotu pôdy, tlak vzduchu, vlhkosť vzduchu, výpar, oblačnosť, atmosférické zrážky, smer vetra a pod.

Počasia sa neustále mení vzhľadom na lokalitu. Medzi činitele, ktoré ovplyvňujú samotné počasie patrí napríklad more alebo oceán a vzdialenosť od nich, vysoké pohoria, nížiny, podnebia, v ktorom sa daná lokalita nachádza (tropické, subtropické, mierne a pod.) a v neposlednom rade nadmorská výška. Podnebie určujeme hlavne na základe množstva nameraných zrážok a priemernej nameranej teploty. Počasie dokážeme pomenovať, podľa meteorológie, ako okamžitý stav atmosféry, ktorý je definovaný súborom nameraných hodnôt zo všetkých meteorologických prvkov a atmosférických javov v danom mieste a v konkrétnom čase.

3. Atmosféra

Atmosféra vytvára plynný obal Zeme, v ktorom sa dejú všetky meteorologické javy. Pozostáva z niekoľkých vrstiev, pričom všetky zmeny, ktoré vieme pozorovať a ktoré ovplyvňujú samotný let, sa dejú v troposfére. Na základe zemskej gravitačnej sily vieme, že najvyšší tlak a hustota, má atmosféra pri zemskom povrchu. S narastajúcou nadmorskou výškou sa tlak a hustota rapídne znižuje. Približne do výšky 5,5 km je koncentrovaných až 50% celkovej hmotnosti atmosféry a do výšky 20 km je 90% hmotnosti.

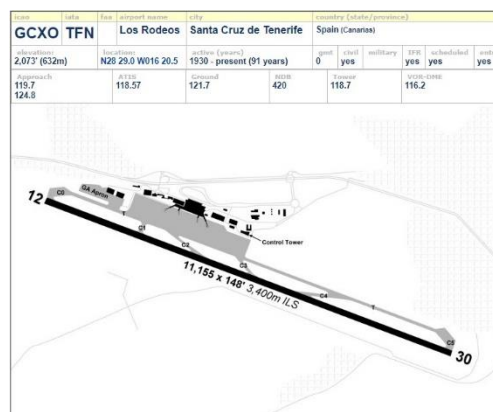
Atmosféru a zmeny v nej vieme pozorovať nie len v horizontálnej, ale aj vo vertikálnej rovine. Hlavné zmeny vo vertikálnej rovine sú zmena teploty, hustoty a tlaku vzduchu. V našom prípade sa budeme predovšetkým zaoberať najspodnejšou vrstvou atmosféry, ktorá sa nazýva troposféra. Vyčleňujeme ju od zemského povrchu až do výšky približne 10 – 16 km. Výška sa mení vzhľadom na to, či danú výšku atmosféry pozorujeme na póloch alebo na rovníku. Zmenu vo výškach horných hraníc zapríčiňuje rotácia Zeme a teda odstredivá sila, preto výška hornej hranice troposféry bude najvyššia na rovníku a naopak najnižšia výška hornej hranice sa bude nachádzať na jednotlivých póloch. Teplota v troposfére sa s výškou mení približne o 0,65 °C na 100 m.

4. Nehoda v Tenerife

Nehodu v Tenerife, chceme poukázať na nebezpečenstvo výskytu hmly pre leteckú dopravu. Zároveň kladieme dôraz na dôležitosť pozorovania a predpovedania všetkých meteorologických prvkov, ktoré môžu akýmkoľvek spôsobom nežiadúco ovplyvniť plynulosť a predovšetkým bezpečnosť leteckej premávky. 27. marca 1977 sa udiala najtragickejšia nehoda v histórii letectva. Začiatok celej nešťastnej udalosti, vieme sledovať od ohlásenia bombového útoku na letisku Las Palmas de Gran Canaria (LPA), ktorá neskôr aj vybuchla.

Letisko Los Rodeos, dnes Tenerife North, sa nachádza na najväčšom ostrove Kanárskych ostrovov, ktoré patria Španielsku. Oproti letisku LPA sa nachádza vo vyššej nadmorskej výške a je podstatne menšie. Na základe jeho veľkosti nebolo možné, aby ustálo odvrátenie veľkého počtu letov. Napriek tejto skutočnosti muselo letisko zabezpečiť, aby prichádzajúce lety tu

mohli pristáť a následne bezpečne odletieť. Kvôli nedostačujúcim priestorom vyhradeným pre parkovanie lietadiel, boli dispečeri nútení umiestniť lietadlá na jedinú príjazdovú cestu.



Obrázok 1: Letisko TNF, pohľad zhora. Zdroj: <https://rjets.net/airports/?show=522>

Boeing 747 KLM sa rozhodol kvôli ušetreniu času, dotankovať plnú nádrž, aby nemusel znovu tankovať na cieľovom letisku. Dotankovaním zdržal aj Boeing 747 Pan Am a vďaka tomu obe lietadlá išli na vzletovú dráhu krátko po sebe. Po zaujatí pozície Boeingu KLM pre vzlet, druhý Boeing Pan Am išiel práve v protismere s pokynmi, aby opustili dráhu treťou odbočkou, a tak uvoľnili dráhu pre vzlet. Kvôli nadmorskej výške, v ktorej sa letisko TFN nachádza, sa vytvorila hustá hmľa, ktorá výrazne znížila viditeľnosť na toľko, že dispečeri nevideli na dráhu. Kvôli hustej hmle posádka Boeingu 747 Pan Am netrafila odbočku, ktorú mali použiť a rozhodli sa použiť nasledujúcu odbočku bez oznámenia. Oproti nim sa kapitán van Zanten rozhodol pre vzlet, pritom dostával pokyny od dispečera pre prvú letovú hladinu (znamená čistý vzduch nad dráhou, nie však voľno na dráhe). V hmle sa jednotlivé posádky navzájom nevideli, preto van Zanten dal maximálny ťah pre vzlet. Po krátkom čase van Zanten uvidel na dráhe navigačné svetlá druhého Boeingu, avšak už na zastavenie bolo neskoro, preto sa rozhodol o zdvihnutie lietadla. Kvôli plným nádržiam bolo lietadlo príliš ťažké na to, aby sa odlepilo od zeme. Van Zanten prudko potiahol riadiacu páku, čo zapríčinilo náraz chvostovej plochy o zem. Posádka Boeingu 747 Pan Am sa pokúsila o rýchle opustenie dráhy, avšak tento manéver nestihla a lietadlá do seba narazili. Nehoda si vyžiadala celkovo 583 mŕtvych, čím sa stala najtragickejšou leteckou nehodou v dejinách.

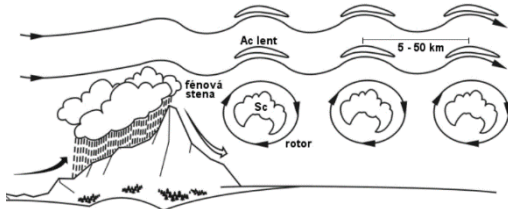
5. Let v horách

Počas letu v horách alebo v horských oblastiach vplýva na lietadlo a taktiež na letovú posádku mnoho meteorologických prvkov. Na náhle zmeny meteorologických podmienok musí byť pilot schopný zareagovať takmer okamžite. Musí byť schopný dokázať stabilizovať lietadlo, aby sa predišlo katastrofálnym následkom. Zmeny podmienok sa najčastejšie prejavujú krátkym trvaním, no však silnou intenzitou. V každej oblasti na zemskom povrchu sa na základe pozorovania prebiehajúcich dejov a podmienok dá predpokladať pravidelnosť leteckých podmienok.

5.1. Vietor

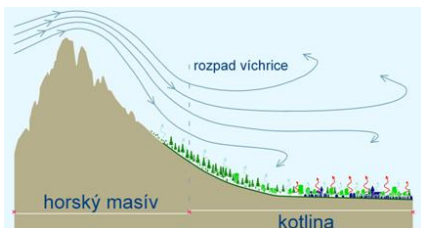
Vznik vetrov a ich pohyb, zapríčiňuje vyrovnávanie rozdielov tlaku vzduchu. Pri tlakovej výške pozorujeme pokojnejšie počasie na rozdiel od tlakovej níže. Je to preto, lebo vietor prúdi z tlakovej výšky do tlakovej níže a v dôsledku toho v tlakovej níže bude silnejší vietor, väčšia oblačnosť a aj vyššia pravdepodobnosť zrážok. Podľa synoptických máp, ktoré znázorňujú rozloženie tlakových útvarov a ich izobár, sme schopní povedať ako sa vzduch nad územím pohybuje, a z ktorého smeru prichádza. Pre potreby našej problematiky sa budeme zaoberať vetrami, ktoré môžu vzniknúť hlavne v horských oblastiach alebo v ich blízkostiach, a teda predstavujú možné problémy pre pilotov lietadiel a letovej posádky.

Turbulencia sa podieľa na ovplyvňovaní prúdenia vzduchu. Samotnú turbulenciu ovplyvňujú predovšetkým tvary miestneho reliéfu ako napríklad nížiny, pohoria, kotliny. Prúdenie vzduchu pri povrchu Zeme taktiež ovplyvňuje miestna vegetácia. Vegetácia ovplyvňuje najmä drsnosť povrchu a v konečnom dôsledku rýchlosť prúdenia vzduchu, ale má zásadný vplyv aj na smer prúdenia. Vytvára sa na základe meniacich sa vektorov rýchlosti vetra. Vieme ju pozorovať podľa nárazovitosti vetra. Nad členitým povrchom sa neustále vytvárajú turbulencie, ktoré sú výraznejšie, ak je rýchlosť vetra vyššia a terén je viac nepravidelný. Túto turbulenciu označujeme ako mechanickú. Jeden z ďalších druhov turbulencií je termická turbulencia. Vďaka konvexii, vieme pozorovať pohyby vzduchu zvislo nahor alebo nadol, čo sú vlastne poruchy v ustálenom prúdení. Konvexii sa venujeme v práci neskôr. V prípade ak prúdi silný a ustálený vietor ponad horské hrebene, vieme pozorovať vlnové prúdenie. Vlnové prúdenie je v jej vlne ustálené bez výskytu turbulencií, avšak pod vlnami dochádza k vytváraniu tzv. rotorov, kde sa vyskytuje silná turbulencia. Rotor býva vždy najviac výrazný pri prvej vlne za hrebeňom.



Obrázok 2: Vlnové prúdenie a vznik rotorov za hrebeňom pohoria.
Zdroj: <https://www.kstst.sk/paques/vht/meteo/oblaky4.htm>

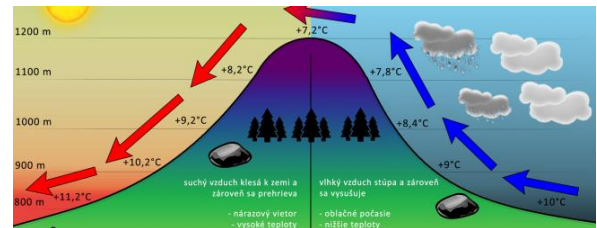
Vietor, ktorý je ovplyvnený vzhľadom a tvarom reliéfu alebo orografiou, nazývame Bóra. Prúdi z chladnej vzduchovej hmoty a je typický vysokou nárazovitosťou. Vďaka chladnému charakteru vetra je tento vietor veľmi ťažký. Počas prúdenia chladného vzduchu na náveternej strane pohoria sa tento vzduch začne hromadiť. Po dosiahnutí výšky pohoria, pri ktorom



Obrázok 3: Bóra.

sa vzduch nachádza, začne kvôli veľkej hmotnosti vysokou rýchlosťou padať na záveternej strane pohoria smerom dolu.

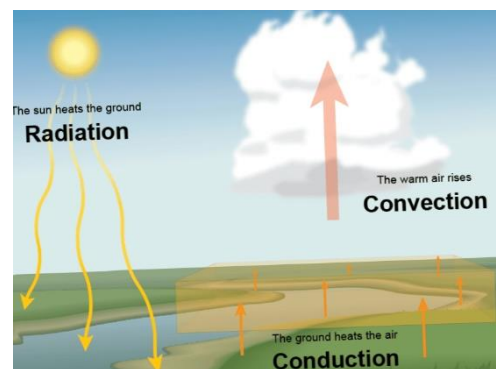
Vietor tiež ovplyvnený vzhľadom a tvarom reliéfu alebo orografiou, podobne ako Bóra, sa nazýva Föhn. Na rozdiel od Bóry je tento vietor teplý a suchý a vyskytuje sa na záveternej strane pohoria. Vzniká na princípe odlišných tlakov vzduchu na náveternej a záveternej strane pohoria. Na náveternej strane pozorujeme ochladzovanie vzduchu a jeho postupné obohacovanie o vlhkosť. Začne sa vytvárať oblačnosť a atmosférické zrážky. Na opačnej, záveternej strane pohoria pozorujeme suchý klesajúci vzduch. Klesaním sa otepľuje v celom svojom profile, výsledkom čoho je teplejší a suchší vzduch.



Obrázok 4: Föhn.

Horský a dolinový vietor patrí medzi vetry, ktoré sa vyznačujú miestnou cirkuláciou v oblasti hôr alebo pohorí. Sú charakteristické opakovaním počas dňa a noci. Tvoria sa vďaka radiačnému, teda vyžarovacému typu počasia. Cez deň sa vďaka Slnku ohrievajú svahy hôr alebo pohorí, čo zapríčiňuje oteplenie prízemného vzduchu. Oteplený a teda ľahší vzduch začne stúpať smerom nahor a na jeho miesto bude prúdiť chladnejší vzduch z okolitých dolín. Takýto vzduch nazývame dolinový vietor. Naopak v noci pozorujeme opačný priebeh. Vzduch, ktorý cez deň stúpil smerom nahor sa ochladí od atmosféry a začne klesať zo svahov hôr alebo pohorí smerom nadol. Svojím prúdením vytlačí nahromadený, o trochu teplejší vzduch v doline. Tento druh vetra nazývame horský vietor.

Pri konvexii dochádza k porušeniu v ustálenom prúdení, čo znamená pohyb vetra vo vertikálnom smere. K premiešaniu vzduchu napomáha turbulencia, ktorá konvekciu sprevádza. Konvekciu vieme rozdeliť do dvoch základných druhov a to termickú a dynamickú. Termickú pozorujeme pri nepravidelnom ohrievaní povrchu. Dynamickú ako dôsledok nútených pohybov pri prúdení vo vertikálnom smere okolo terénnych prekážok. Výstupné prúdy sa podieľajú na vytváraní orografických oblakov.



Obrázok 5: Termická konvekcia [Zdroj: <https://leskanaris.com/5779-convection-and-weather.html>]

5.2. Tlakové útvary

Pri tlaku vzduchu pozorujeme vlastnosti vzduchu ako silu vo vertikálnej rovine, hustotu, obsah vodnej pary, teplotu a kde sa vzduch nachádza (nadmorská výška a zemepisná poloha). Ak je vzduch hustejší, teda ťažší, bude väčšou silou pôsobiť na zemský povrch. Veľičinu tlaku vzduchu zaraďujeme medzi najdôležitejšie atmosférické prvky. Akákoľvek zmena tlaku vzduchu v atmosfére bezprostredne mení celkovú meteorologickú situáciu (počasie). Tlak vzduchu sa nepretržite mení, čo znamená, že nie je možné, aby každé miesto na Zemi malo svoj prislúchajúci tlak vzduchu.

Štandardnú atmosféru využívame v letectve pri množstve výpočtov pre ideálne podmienky. Hodnota tlaku vzduchu vychádza z priemernej hodnoty tlaku vzduchu na hladine mora, čo predstavuje 1013,25 hPa. Teplota vzduchu pri týchto podmienkach je 15° C. Pokles teploty s výškou každých 1000 m klesá o 6,5° C.

Barické pole, je definované ako plocha ohraničená čiarami, tzv. izobarami. Izobary spájajú miesta na mape, ktoré majú rovnaký tlak vzduchu. Určuje polohu tlakových útvarov voči zemskému povrchu. Oblasti vysokého alebo nízkeho tlaku vzduchu pozorujeme na synoptických mapách zakreslené pomocou izobár. Tieto oblasti inak nazývame aj ako tlakové polia.

Oblasť nízkeho tlaku vzduchu vieme inak pomenovať aj ako cyklóna. Tvoria ju spojené izobary, kde centrom je oblasť s najnižším tlakom vzduchu, ktorý sa smerom od stredu postupne zvyšuje. Severná pologuľa je typická svojím rotovaním vzduchu proti smeru hodinových ručičiek, zatiaľ čo južná pologuľa je typická svojím prúdením po smeru hodinových ručičiek. Prúd vzduchu v cyklóne sa stáča smerom do jej stredu. Jej pohyb sledujeme zo západu na východ. V letnom období cyklóna prináša pokles teploty a naopak v zimnom období nárast teploty (v zimnom období oblačnosť napomáha odrážať vyžarované teplo späť na zemský povrch, a tak udržiavať teplotu). Cyklóny vo svojom vývoji vytvárajú prinajmenšom dva atmosférické fronty. Tlaková níz je charakteristická svojím vplyvom na počasie, ktoré však závisí od ročného obdobia a taktiež od smeru, odkiaľ sa pohybuje.

Vznik frontálnych rozhraní charakterizuje proces frontogenézy. Atmosférické fronty sa vytvárajú v tlakovej níži podľa odporozovaných krokov. Spočiatku prúdi priamočiara vedľa seba teplý a studený vzduch. Neskôr dochádza k narušeniu hranice medzi nimi a vzniká rozvlnenie hranice. Jedna z hmôt začne vytláčať druhú. Na hranici potom pozorujeme vzniknutú cyklónu. V cyklóne na jej východnej strane sa v dôsledku prúdenia teplého vzduchu na sever, začne tvoriť teplý front. Naopak na západnej strane cyklóny pozorujeme tvorbu studeného frontu. Na východnej strane sa teplý vzduch naďalej posúva smerom na sever a na západnej strane chladný na juh. Jednotlivé fronty sa postupne stretnú v centre cyklóny. Po stretnutí studeného frontu s teplým frontom, kvôli menšej hustote teplého vzduchu a teda jeho nižšej hmotnosti, je teplý front vytlačený studeným frontom smerom hore. Po vyplnení cyklóny studeným vzduchom dochádza k rozpadu okluzného frontu a k zániku cyklóny.

Oblasť vysokého tlaku vzduchu inak nazývame aj anticyklóna. Rovnako ako u cyklóny je anticyklóna tvorená spojenými izobarami so stredom, kde je najvyšší tlak vzduchu. Tlak vzduchu od stredu anticyklóny klesá. Smer prúdenia vzduchu je opačný

ako u cyklóny. Na severnej pologuli pozorujeme smer prúdenia po smere hodinových ručičiek a naopak na južnej pologuli proti smeru hodinových ručičiek. Táto oblasť je taktiež charakteristická rozpadom atmosférických frontov, preto počasie v anticyklóne býva prevažne bez oblačnosti so slabým vetrom alebo aj s bezvetrím.

5.3. Teplotný režim atmosféry

Teplotný režim atmosféry a teplotu vzduchu zaraďujeme medzi meteorologické prvky, vďaka ktorým vieme merať teploty a teplotné rozdiely v atmosfére. Na základe nameranej priemernej teploty ovzdušia v priebehu mesiaca a množstvom zmeraných zrážok v tom období, vieme charakterizovať klímu v sledovanej oblasti.

Denným chodom teploty charakterizujeme vývoj teploty ovzdušia počas dňa. Na ohrievanie alebo ochladzovanie vzduchu má najväčší vplyv vyžarovanie tepla zo zemského povrchu. V dôsledku toho pozorujeme presun tepelnej energie zo zemského povrchu smerom nahor.

Ročný priebeh teplôt sledujeme vďaka nameraným priemerným teplotám vzduchu v jednotlivých mesiacoch. Pri ročnom chode teplôt používame globálne a absolútne amplitúdy. Globálna amplitúda vyjadruje rozdiel maximálnej a minimálnej nameranej teploty ovzdušia na celej Zemi a absolútna amplitúda vyjadruje miestny rozdiel teplôt vzduchu.

5.4. Vlhkosť vzduchu

V zemskej atmosfére sa voda objavuje vo svojich všetkých troch skupenstvách. Jej vplyvom najviac ovplyvňuje počasie, transportuje energiu zo všetkých zemepisných šírok. Jej skupenstvá vieme sledovať v atmosfére v podobe oblakov a zrážok, ktoré sa v nich produkujú. Sú to napríklad rosa, dážď, námraza, sneh, hmla a podobne. Vlhkosť vzduchu patrí medzi jedny z hlavných meteorologických prvkov, pomocou ktorých vieme pozorovať objem vody v zemskej atmosfére. Pohyb vody do atmosféry pozorujeme vďaka javom ako sú výpar a dýchanie.

Jav presunu vody do atmosféry môžeme sledovať pomocou výparu. K javu dochádza v podmienkach, kedy množstvo molekúl, ktoré sa presúvajú z povrchu do atmosféry je väčšie ako množstvo molekúl, ktoré sa vracajú na povrch. Výpar pokračuje, pokiaľ sa vzduch nenasýti vodnou parou. Množstvo nasýtenia vodnej pary je závislé od okolitej teploty prostredia. Pri teplejšom vzduchu je množstvo vodnej pary na nasýtenie vzduchu väčšie. Ak vzduch obsahuje väčšie množstvo vodnej pary, dochádza k jej kondenzácii a teda k tvorbe zrážok.

Prechody medzi jednotlivými skupenstvami vieme sledovať v atmosfére vďaka kondenzácii alebo depozícii. Zmeny skupenstva nemusia byť nutne v poradí od plynného cez kvapalné až po tuhé, ale na základe okolitej teploty sa môže vodná para zmeniť na kryštáliky ľadu. Kondenzáciou označujeme proces zmeny skupenstva z plynnej formy v podobe vodnej pary na kvapalné skupenstvo. Pri zmene skupenstva vodnej pary priamo na tuhú formu v podobe tuhých zrážok sa tento dej označuje ako depozícia.

Situácie, kedy kondenzácia vodnej pary spôsobuje pokles horizontálnej dohľadnosti menšiu ako 1 km, označujeme ako hmla. Obsahuje zmiešané vodné kvapky s okolitým vzduchom. Horná hranica hmly dosahuje výšku najmenej niekoľko

centimetrov, najviac aj niekoľko stoviek metrov. V situáciách bez výskytu prúdov vzduchu vieme pozorovať súvislú hornú hranicu hmly. V takom prípade hovoríme o prízemnej hmle a o prízemnej dohľadnosti. Údaj o prízemnej dohľadnosti je veľmi dôležitý pri pristávaní lietadla, keď kvôli hmle posádka nie je schopná vidieť pristávaciu dráhu.

Medzi meteorologické prvky, ktorým sa venujeme, taktiež patrí oblačnosť. Má priamy vplyv na udržiavanie teploty povrchu v danej oblasti výskytu. V procese sledovania oblačnosti sa dbá predovšetkým na veľkosť pokrytia oblohy oblakmi, aká hustá oblačnosť sa vytvára, z akého smeru sa oblačnosť pohybuje za použitia rovnakých princípov ako pri udávaní smeru vetra a v neposlednom rade, akou rýchlosťou sa oblaky pohybujú. Pri tvorbe oblakov zohrávajú najdôležitejšiu úlohu pohyby vzduchu vo vertikálnom smere tzv. výstupné pohyby. Stúpaním sa tlak vzduchu znižuje a zapríčini sa tak rozširovanie vzduchu a jeho následné ochladenie. Ochladením narastie celková vlhkosť alebo bod nasýtenia, začne sa voda kondenzovať a vytvárať oblaky.

6. Správy o počasí

Podrobné a zároveň stručné správy o počasí v letectve vieme nájsť najčastejšie vo forme správ METAR a správ TAF. Z predošlých kapitol vieme, že akýkoľvek meteorologický prvok je charakteristický tým, že pôsobí po určitú dobu na danom mieste. Pomocou meracej techniky na pozorovanie konkrétnych javov vieme predpovedať ich hodnoty, ktoré sa kvôli existencii určitých obmedzení pri meraniach podobajú, alebo najviac približujú k reálnym hodnotám v konkrétnom predpovedanom čase.

6.1. METAR

Používa sa pre informovanie leteckej posádky o aktuálnom stave počasia na letisku, v ktorom sa táto správa vytvorila. Opisuje stav počasia na letisku, poprípade aj v blízkom okolí v zaužívaných skratkách leteckej angličtiny, vďaka čomu nadobúda stručnosť pri jej vytváraní. Vytvorenie správy sa uskutočňuje v leteckých meteorologických staniách, ktoré sú priamo na tento účel vytvorené. Kódovanie správ METAR má predpísanú podobu, zavedenú organizáciou WMO. Každý prvok správy sa musí nachádzať na predpísanej pozícii, ktorá je priamo určená. V prípade, že sa nejaký meteorologický prvok nebude vyskytovať v danom mieste, je zbytočné ho zahŕňať do správy kvôli stručnosti.

METAR LZZI 281600Z 11002KT 9999 OVC047 02/00 Q1020= (Príklad kódovania správy METAR)

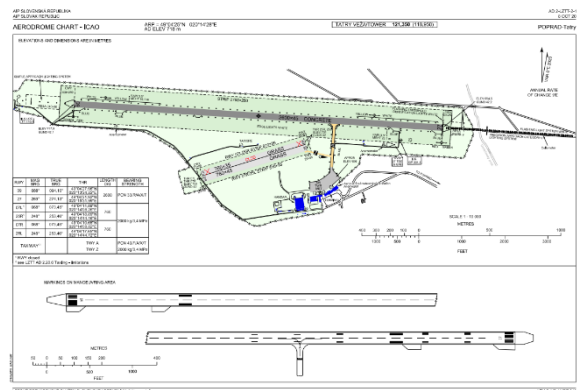
6.2. TAF

Od správy METAR sa líši svojou platnosťou na obdobie dlhšie ako sú 2 hodiny. Správa TAF má platnosť minimálne 6 hodín od vytvorenia a maximálne 30 hodín. Kódovaním sa veľmi podobá správe METAR. Pri vytváraní správ TAF sa správy rozdeľujú na krátke a dlhé TAFy. V prípade správ, ktorých časová platnosť je menej ako 12 hodín, je periodicita vytvárania 3 hodiny. Tieto správy sa označujú ako krátke TAFy. V prípade správ, ktorých časová platnosť prekračuje 12 hodín, avšak nie maximálnych 30 hodín, je periodicita vytvárania 6 hodín. Takéto správy sa označujú ako dlhé TAFy.

TAF LZIB 301700Z 3018/0118 12004KT 9999 SCT030
BECMG 3023/0101 BKN012
TEMPO 0100/0108 VRB02KT 4000 BR BKN008
BECMG 0108/0110 SCT040
TEMPO 0110/0116 13015KT=
(Príklad kódovania správy TAF)

7. Charakteristika letiska Poprad-Tatry

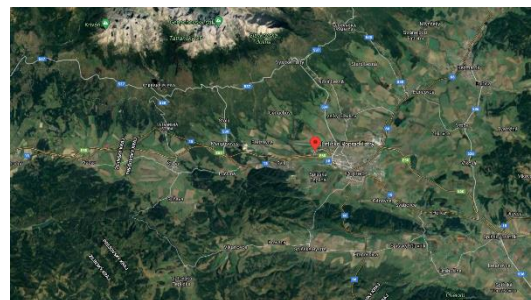
Letisko Poprad-Tatry je najvyššie položené letisko na Slovensku. Nachádza sa 718 m. n. m. Podľa ICAO skratky sa letisko označuje skratkou LZTT. Letisko svojim vybavením dovoľuje pilotom uskutočniť lety IFR alebo VFR, teda lety počas dňa a noci. Vzletová alebo pristávacia dráha je na tomto letisku orientovaná v smere 09/27, čo znamená v smere západ-východ. Orientácia smeru dráhy a spolu so samotnou polohou letiska LZTT, má letisko veľmi dobrú ventiláciu v týchto smeroch. Problémové však bývajú prúdy vetrov zo severného smeru a z južného smeru kvôli pohoriam a teda výskytom spomínaných meteorologických javov, ktoré priamo ovplyvňujú leteckú dopravu.



Obrázok 6: Letisková mapa LZTT.

Zdroj: https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/pdf/aip/LZ_A_D_2_LZTT_2-1_en.pdf

Na obrázku č. 6 vidíme spomínanú skutočnú orientáciu pristávacej dráhy letiska LZTT v smere západ – východ. Dráha je týmto smerom orientovaná kvôli prúdiacemu vetru buď zo západného alebo východného smeru. Letisko aj pre svoje orientovanie v Popradskej kotline, je veľmi citlivé na západné prúdenie. Pri západnom vetre vieme pozorovať ventiláciu kotliny a často sa pri takomto prúdení Poprad javí stále veľmi teplou lokalitou na východe krajiny, hoci má vyššiu nadmorskú výšku.

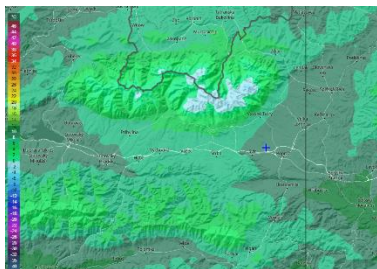


Obrázok 7: Umiestnenie letiska LZTT a jeho okolie.

Obrázkom č. 7 chceme názorne poukázať na umiestnenie letiska LZTT, ktoré zo severnej strany obklopuje pohorie Vysoké Tatry a z južnej strany Nízke Tatry. Zo západnej strany, rovnako ako z východnej strany, je otvorené a bez kopcovitých prekážok. Letisko LZTT je umiestnené v Popradskej kotline, kde sa z okolitých pohorí hromadí vzduch, na základe ktorého dokážeme pozorovať vznik a vplyv horského a dolinového vetra. Okrem spomínaných vetrov sa v danej oblasti vyskytujú pravidelné turbulencie, ktoré pozorujeme pri severnom alebo južnom prúdení. Pri južnom prúdení vzduchu vieme v tejto kotline pozorovať spomínaný jav Föhn, ktorý vzniká vplyvom Nízkych Tatier.

7.1. Vplyv meteorologických prvkov v oblasti letiska LZTT

V daný deň merania, sme pozorovali smer prúdu vetra zo západného smeru. Letisko je známe svojim problémom s turbulenciami, hoci prúdenie vetra v takomto smere nespôsobuje žiadne nepriaznivé vplyvy na let na danom letisku. Pristávacia dráha je orientovaná v smere západ-východ a v takomto prúdení vietor napomáha skrátiť dĺžku vzletu a pristátia. V prípade zmeny prúdu vetra zo severného smeru ponad Vysoké Tatry, v oblasti letiska LZTT sa v takej situácii očakávajú vo vyšších nadmorských výškach vlnové turbulencie, ktoré výrazne ovplyvňujú plynulosť a bezpečnosť letu a stabilitu lietadla a vyžadujú si zvýšenú pozornosť pilota. V nižších výškach môže vzniknúť rotor z vlnovej turbulencie, ktorý sa však očakáva v blízkosti pohorí na záveternej strane. Okrem spomínaných turbulencií, vieme pozorovať Bóru, pri prúdení vetra zo severu ponad Vysoké Tatry.



Obrázok 8: Teplotné pole v okolí letiska LZTT 10.05.2021.

Pozorovali sme aj teplotu vzduchu v okolí letiska LZTT. Vieme, že pohoria vplývajú na celkovú teplotu vzduchu v sledovanej oblasti. Spolu s vetrom, ktorý je ovplyvnený teplotou v oblasti, cez ktorú prúdi, vieme predpokladať konečný dopad na teplotu na letisku. Pri zmene smeru prúdenia vzduchu zo severu ponad horské prekážky, v takom prípade, že pozorujeme rozličné prehrievania horského terénu, očakávame vznik turbulencií, ktoré značne znepríjemňujú pilotom let v blízkosti hôr.

METAR pre LZTT

METAR LZTT 291400Z 23013KT 9999 SCT040 15/03 Q1008 NOSIG=

Správou METAR z dňa 29.04.2021 si názorne ukážeme ako vyzera správa METAR pre letisko LZTT a aký typ počasia sa v danej oblasti nachádza. Hneď na začiatku vidíme, že správa bola vydaná 29.4. o 14:00. Ďalej zo správy zisťujeme smer a rýchlosť vetra a to 230 stupňov, čo znamená, že vietor prúdi z juhozápadu s rýchlosťou 13 uzlov. Prízemná dohľadnosť je viac ako 10 km. Zo skratky SCT vieme povedať, že je polooblačno so základňou vo výške 4 000 stôp. Teplota vzduchu je 15 °C a

teplota rosného bodu je 6 °C. Tlak vzduchu 1 008 hPa. Vieme teda povedať, že v danom čase v sledovanej oblasti musia piloti počítať s prúdením vetra z juhozápadu, ktorý je ovplyvnený Nízkymi Tatrmi a je teda pravdepodobný aj výskyt turbulencií v tejto oblasti. Z miernej oblačnosti nepredpokladáme žiadne zrážky, teda nehrozí ovplyvnenie letu zrážkami. V konečnom dôsledku môžeme povedať, že najvýraznejším prvkom, ktorý bude mať najväčší vplyv v danom čase na let, bude prúd vetra a vyskytujúce sa turbulencie.

8. Záver

Pozorovaním meteorologických prvkov na letisku LZTT sme si priblížili jednotlivé spomínané prvky a ich vplyv na let. Tiež sme analyzovali nebezpečenstvo pre pilotov, ktorí lietajú v danej oblasti. Nadobudli sme predstavu, aký zásadný vplyv na let má výskyt pohorí v blízkosti letísk. Pre popísanie jednotlivých prvkov a ich výskyt a vplyv na let, sme vychádzali z nadobudnutých informácií spracovaných v teoretickej časti. Pomocou meteorologických internetových, verejne dostupných stránok sme získali grafické zobrazenia pre každé spomínané prvky.

Referencie

- [1] KROLLOVÁ, S.: Letecká Meteorologická Služba. Žilinská Univerzita v Žiline. 2015. 182 s. ISBN 978-80-8181-015-2.
- [2] BALÁŽOVIČOVÁ, L.: Základy meteorológie a klimatológie pre geografov. Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici. 2015. 150 s. ISBN 978-80-557-0954-3.
- [3] POLČÁK, N.: Základy klimatológie pre geografov. Vysokoškolské skriptá. 1. vydanie. Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici. 2009. 115 s. ISBN 9788080837662.
- [4] PROKOP, M., FÖRCHTGOTT, J., a kol.: Meteorologie pro sportovní letce. Praha: Naše vojsko, 2. vydanie, 1963. 268 s.
- [5] DVOŘÁK, P., a kol.: Učebnice pilota 2019 – Svět křídel, LETECKÁ METEOROLOGIE. Cheb. 1. vydanie. ISBN – 978-80-7573-049-7.
- [6] NETOPIIL, R., a kol.: Fyzická geografia 1. Státní pedagogické nakladatelství Praha. 1. vydanie. 1984. 273 s. ISBN 14-383-84.
- [7] Majo Bóna, 2016. Katastrofa na Tenerife: Najväčšia letecká nehoda v dejinách [online] Magazin.sk. Dostupné na internete: <https://magazin.pluska.sk/techmag/katastrofa-tenerife-najvacsia-letecka-nehoda-dejinach> (citované dňa 2021-03-12)
- [8] Adam Zuska, 2017. Tenerife – čtyřicet let poté [online] Aeroweb. Dostupné na internete: <https://www.aeroweb.cz/clanky/5356-tenerife-ctyricet-let-pote> (citované dňa 2021-03-12)
- [9] Marcel Šulek, 2017. Nejtragičtější nehoda v dějinách, 583 mrtvých při srážce Boeingů 747. Chyboval kapitán KLM [online] Lidovky.cz. Dostupné na internete: <https://www.lidovky.cz/svet/odlet-nebo-vzlet-pred-40-lety-doslo-k-nejtragictejsi-letecke->

havarii.A170324_172527_In_zahranici_msk (citované dňa 2021-03-12)

- [10] Slovenský hydrometeorologický ústav: Letecká meteorológia [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=34> (citované dňa 2020-12-27)
- [11] Letisko Poprad-Tatry: O letisku [online]. Dostupné na internete: <http://www.airport-poprad.sk/sk/podstranky/letisko/oletisku.php> (citované dňa 2021-05-09)
- [12] AIP letiska Poprad-Tatry. [online]. Dostupné na internete: https://aim.lps.sk/eAIP/eAIP_SR/AIP_SR_valid/html/LZ-AD-2.LZTT-sk-SK.html (citované dňa 2021-05-09)
- [13] Slovenský hydrometeorologický ústav: Letisková meteorologická správa METAR [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=483> (citované dňa 2020-11-28)
- [14] Slovenský hydrometeorologický ústav: Letisková predpoveď TAF [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=484> (citované dňa 2020-11-30)
- [15] 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.

Róbert Galko – narodený 21.5.1998 v Ilave. V 2018 absolvoval osemročné gymnázium Spojená škola sv. Jána Bosca v Novej Dubnici. V súčasnosti študuje bakalársky stupeň leteckej dopravy na Žilinskej univerzite v Žiline. rogalko@gmail.com

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE MOUNTAIN RESCUE SERVICE

MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V HORSKEJ ZÁCHRANNEJ SLUŽBE

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

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

Abstract

The theme of paper is the use of unmanned aerial vehicles in the Mountain rescue service. At the beginning, a brief summary about the history and development of unmanned aerial vehicles is made, starting from the very beginning to their gradual integration into the rescue systems all around the world. This part is followed by an analysis of the currently valid Slovak legislation regulating the rules of flying with unmanned aerial vehicles on the territory of Slovak Republic, which also affects the flight operations of mountain rescuers. Author also included an analysis of the European legislation, which should gradually replace the currently valid Slovak legislation and unify the rules of operation of unmanned aerial vehicles on the territory of the member states. The third chapter describes the use of specific types of unmanned aerial vehicles used by the Mountain rescue service of Slovak Republic and also of other European countries. We focused on the operational advantages and disadvantages compared to other types of aircraft technology used in the mountain rescue systems. The last part consists of an analysis of available equipment used in conjunction with unmanned aerial vehicles during avalanche accidents. Part of the work is also researching the possible extensions of mountain rescue operations by the implementation of modern avalanche beacons attached on the unmanned vehicles. In a research we focused mainly on the possible interference caused by the operation of unmanned aerial vehicle in close vicinity of an avalanche beacon.

Keywords

unmanned aerial vehicle, legislation, UAV, mountain rescue service, avalanche, avalanche beacon

1. Úvod

Dnešná pokroková doba priniesla okrem výraznej modernizácie aj rozsiahlu škálu využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov. Tieto relatívne jednoduché stroje boli v počiatkoch svojej éry využívané prevažne v armádnom, či hobby odvetví. Dnes ich profesionálne uplatnenie nájdeme v najrozličnejších oblastiach, slúžiac prevažne na snímkovanie či zber údajov o okolitom teréne z vtáčej perspektívy. Uplatnili sa v poľnohospodárstve, stavebníctve a v neposlednom rade aj pomoci ľuďom a to ich zapracovaním do rôznych záchranných zložiek či už súkromnej alebo štátnej sféry.

Záchrana v horách patrí k neodmysliteľnej súčasť záchranného systému krajiny. Na Slovensku túto službu zabezpečuje Horská záchranná služba, ktorej práca je náročná a vyžaduje si častokrát nasadenie záchranárov priamo do terénu a oblastí, kde je pohyb osôb obzvlášť nebezpečný.

Bakalárska práca má za úlohu analyzovať možnosti využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov v Horskej záchrannej službe. Medzi hlavné ciele patrí objasnenie aktuálneho stavu využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov na Slovensku a v zahraničí, vyhodnotenie faktorov vplyvajúcich na použitie tejto techniky v teréne pri pátracích akciách, či mapovaní geohazardov – svahov s nestabilnou snehovou pokrývkou, kde za splnenia istých podmienok hrozí uvoľnenie lavín, ktoré by mohlo viesť k poškodeniu majetku, či prípadným stratám na životoch. Na začiatku práce nájdeme v skratke zhrnutú históriu postupného vývoja bezpilotných prostriedkov, ktorá výrazne

prispela k vysokému tempu ich neustáleho zdokonaľovania sa až po formu, v ktorej ich poznáme dnes. Nasleduje zhodnotenie súčasnej legislatívnej úpravy platnej na území Slovenskej republiky, ktorá vo vysokej miere vplyva na prevádzku bezpilotných lietajúcich prostriedkov v záchrannom zbore. Zameriame sa taktiež na Európsku právnu úpravu, ktorá prisľubuje zjednotenie pravidiel prevádzky bezpilotných prostriedkov na území členských štátov a postupnou implementáciou náhradu princípov aktuálne využívanej legislatívy.

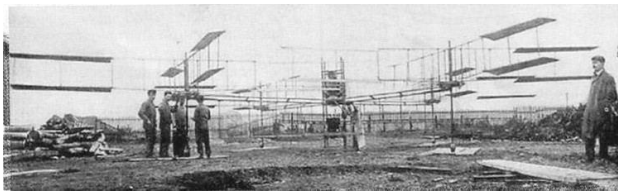
Hlavná časť sa zameriava predovšetkým na rozbor použitia špecifických typov bezpilotných prostriedkov nasadzovaných do misií Horskou záchrannou službou Slovenskej republiky a vybraných štátov Európskej únie. Sústredíme sa tiež na konkrétne prípadové štúdie dohľadávania osôb v horskom teréne a vyhodnotíme údaje pre následné skúmanie.

Súčasťou práce je aj krátky výskum slúžiaci na priblíženie možnej implementácie bežne dostupných moderných digitálnych lavínových vyhľadávačov, ktoré by správnym uchytением na bezpilotný prostriedok mohli výrazne uľahčiť vyhľadávanie osôb zasypaných lavínou. Výrazne by sa tým znížilo okrem iného aj riziko možného zasypania záchranárov sekundárnou lavínou pri pomoci zranenému. Autor práce považuje za mimoriadne dôležité využívanie rôznych bezpilotných lietajúcich prostriedkov pri pátracích akciách, či prípadnom monitorovaní horského terénu. Efektívnosť týchto činností je rozhodujúca pre šetrenie drahocenného času pri záchrane postihnutých osôb.

2. História UAV a ich využitia pri záchrane

História týchto autonómnych prostriedkov siaha hlboko do minulosti a záchrana v horách je nepochybne odvetvie, kde by využitie bezpilotných lietajúcich prostriedkov znamenalo revolúciu pri pátraní a záchrane osôb z častokrát nedostupného terénu, avšak z historického hľadiska sa tieto možnosti nevyskytovali.

História súčasného konceptu ľahkých bezpilotných lietajúcich prostriedkov siaha približne do roku 1907. Bratia Jacques a Louis Bréguet s pomocou francúzskeho fyziológa, profesora Charlesa Richeta vyvinuli jeden z prvých modelov s konceptom kvadrokoptéry, ktorý však dosiahol len malú výšku nad zemou (cca 0,6 m). Na obsluhu tohto stroja bolo potrebných päť ľudí a pri dosiahnutých výsledkoch sa síce jednalo o výrazný pokrok, no neznamenalo to veľký prevrat v praktickosti využitia tohto UAV. Do 90. rokov 20. storočia boli bezpilotné lietajúce prostriedky využívané prevažne v armádnom odvetví [1]. Jednalo sa o stroje, ktoré svojimi rozmermi, finančnou náročnosťou na výrobu a celkovou kompaktnosťou neumožňovali využitie v širšom spektre odvetví. To sa však na prelome storočí začalo rapídne meniť.



Obrazok 1: Prvý model kvadrokoptéry od tvorcov Breguét-Richet 1907. Zdroj: [16].

Vývoj technológií v autonómnom riadení a riadení pomocou diaľkových systémov pokročil natoľko, že v roku 2006 udelil americký letecký úrad (FAA) prvé komerčné povolenie pre bezpilotné lietajúce prostriedky. Problémom mnohých raných bezpilotných lietajúcich prostriedkov však bolo, že nedokázali previesť vzlet a pristátie vertikálnym spôsobom (VTOL) a k vzletu poväčšine potrebovali spevnenú vzletovo pristávaciu dráhu alebo rampu, z ktorej boli vypustené. To obmedzovalo ich potenciálne možnosti využitia v horskom, alebo ťažko dostupnom teréne. [3]

Začiatkom 21. storočia zaznamenali UAV vysoký úspech a pre ich pomerne malé rozmery a dostupnú cenu prichádzalo do úvahy aj ich využitie v omnoho rozsiahlejšej škále odvetví ako tomu bolo do týchto čias. Na obľúbenosti UAV spočiatku nepridával ani fakt, že si ho užívateľ zakúpil ako skladačku, ktorú bolo potrebné svojpomocne zostaviť. V roku 2010 francúzska spoločnosť Parrot predstavila bezpilotný lietajúci prostriedok AR Drone, ktorý bol v podstate prvý užívateľsky široko prístupný UAV. Umožňoval ovládanie pomocou smartfónu a prenos údajov bol zabezpečovaný pomocou Wi-Fi siete. [4]

Za posledných 15 rokov zaznamenalo odvetvie malých bezpilotných prostriedkov pomerne výrazný progres. Spoločnosti ako Heli-Max, Blade, Walker, Parrot, gigant DJI a iné produkovali čoraz kompaktnejšie a užívateľsky jednoduchšie UAV [5]. Práve pomerne veľká kompaktnosť a výkonnosť UAV im priniesla využitie nie len v radoch verejnosti, no našla predovšetkým uplatnenie v rôznych či už bezpečnostných alebo záchranných zložkách. Firma DJI založená v roku 2006,

predstavila v roku 2013 prvé UAV z modelovej rady DJI Phantom. Jednalo sa o prvý VTOL bezpilotný lietajúci prostriedok, ktorý disponoval zabudovaným GPS a funkciou autopilota, čím sa stal ešte jednoduchším na použitie v reálnej prevádzke. [6]

Využitie leteckých prostriedkov výrazne zefektívnilo prácu horských záchranárov hneď v mnohých aspektoch. Postupom času sa začali využívať k horskej záchrane čoraz modernejšie zariadenia. [7]

V 21. storočí sa začali bezpilotné lietajúce prostriedky využívať v celom spektre záchranného systému. Svoje miesto zaujali aj pri práci horských záchranných zložiek a dokázali efektívne suplovať niektoré z činností dovtedy využívaných leteckých prostriedkov.

3. Legislatívna úprava

Tak ako vývoj bezpilotných lietajúcich prostriedkov aj legislatívna úprava je dynamická a rýchlo sa vyvíjajúca. Legislatíva využívania bezpilotných lietajúcich prostriedkov má pre prevádzkovateľa prípadne pilota veľký význam. Dokument definuje právnu úpravu a technické normy, podľa ktorých sú jednotlivé UAV zaradzované do príslušných kategórií.

V tomto dokumente sú bližšie stanovené podmienky, za akých je možno daný bezpilotný lietajúci prostriedok využívať k činnostiam vo vzdušnom priestore. Stanovené sú pravidlá, kde môže UAV vzlietať, pristávať a podľa akých pravidiel sa v danom priestore môže pohybovať. Stanovené sú aj postupy komunikácie s inými lietadlami, prípadne koordinácia s riadením letovej prevádzky, pokiaľ sa letová činnosť vykonáva v riadenom okrsku letiska. [8]

3.1. Legislatívna úprava na Slovensku

Rozhodnutie **2/2019** s platnosťou od **15.11.2019** určuje podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky (ďalej len „vzdušný priestor“).

Podľa stále platnej slovenskej právnej úpravy rozdeľujeme bezpilotné prostriedky do piatich tried:

C0 - jedná sa o diaľkovo ovládané lietadlo alebo model lietadla pričom maximálna vzletová hmotnosť nepresahuje 250g

C1 - jedná sa o diaľkovo ovládané lietadlo alebo model lietadla pričom maximálna vzletová hmotnosť je väčšia ako 250g ale neprekračuje 900g

C2 - jedná sa o diaľkovo ovládané lietadlo alebo model lietadla s maximálnou vzletovou hmotnosťou, ktorá je väčšia ako 900g ale neprekračuje 4kg

C3 - jedná sa o diaľkovo ovládané lietadlo alebo model lietadla pričom maximálna vzletová hmotnosť je väčšia ako 4kg ale neprekračuje 25kg s typickým rozmerom menej ako 3m

C4 - jedná sa o model lietadla s maximálnou vzletovou hmotnosťou, ktorá je väčšia ako 4kg ale neprekračuje 25kg

V Slovenskej právnej úprave rozoznávame dva druhy prevádzky bezpilotných lietajúcich prostriedkov a to kategóriu A nasledovanú kategóriou B.

Kategóriu A prevádzky bezpilotných lietajúcich prostriedkov môžeme nasledovne rozčleniť do špecifických subkategórií A1, A2 a A3. Podmienky umožňujúce vykonanie letu s bezpilotným prostriedkom sa na základe týchto subkategórií líšia v niekoľkých aspektoch. K rozlišujúcim prvkom môžeme zaradiť technické parametre použitého bezpilotného prostriedku a jeho rozdelenie podľa kategórie C. Vzhľadom na to, do ktorej kategórie bezpilotný prostriedok spadá platia pre pilota nasledovné pravidlá. Podmienkou prevádzky je následne splnenie špecifických rozstupov na zaistenie bezpečnosti nezúčastnených osôb, dodržanie meteorologických podmienok a v prípade, že je vykonávaný let v riadenom okrsku letiska, musia byť dodržané aj udávané horizontálne a vertikálne rozstupy tak aby sa predišlo prípadnému stretu s ostatnou letovou prevádzkou. Pilot takéhoto zariadenia musí zabezpečiť aj to, aby nedošlo k prelietaniu husto osídlených oblastí, prípadne miesta s vyššou koncentráciou ľudí.

Kategória B prevádzky bezpilotných lietajúcich prostriedkov umožňuje pilotovi vykonanie letu s UAV so súhlasom Dopravného úradu ak ide o let vykonaný bezpilotným lietadlom iným spôsobom ako je definovaných podľa podmienok kategórie prevádzky A. V kategórii B sú bližšie špecifikované podmienky letu vykonávaného v noci, kedy musia byť splnené podmienky osvetlenia prostriedku UAV primeraným druhom osvetlenia (zábleskový maják). Definované sú podmienky vykonania letu v riadenom vzdušnom priestore po bližšej koordinácii so stanovišťom riadenia letovej prevádzky a vykonanie letu v inej vzdialenosti od nezúčastnených osôb ako je určená vzdialenosť podľa podmienok kategórie A. Pokiaľ je k letu použitý bezpilotný lietajúci prostriedok, ktorého maximálna vzletová hmotnosť je väčšia ako 25kg musí v takomto prípade prevádzkovateľ UAV uzatvoriť zmluvu o poistení zodpovednosti za škodu spôsobenú prevádzkou bezpilotného lietadla, či viesť palubný denník bezpilotného lietadla prípadne doklad, ktorý ho nahrádza. [9]

V tejto práci sa venujeme využitiu bezpilotných lietajúcich prostriedkov v Horskej záchranej službe, ktorá patrí medzi zložky integrovaného záchranného systému. Podľa článku 1 odseku 4 tohto rozhodnutia sa na vykonanie letu zložkami integrovaného záchranného systému a iných bezpečnostných zborov vzťahujú len všeobecné podmienky vykonania letu bezpilotným lietadlom a bližšie špecifikované podmienky koordinácie letu s riadením letovej prevádzky, pokiaľ je takýto let vykonávaný v riadenom okrsku letiska.

3.2. Európska legislatíva

Začiatok roka 2021 so sebou prináša aj postupnú implementáciu novej európskej legislatívy zameranej na prevádzku UAV. Jedná sa o zjednotenie a zosúladenie európskych pravidiel prevádzky bezpilotných lietajúcich zariadení.

Od 1. januára 2021 sa začalo uplatňovať vykonávajúce nariadenie EÚ č. 2019/947. Toto nariadenie komplexne zjednocuje pravidlá používania UAV v celej EÚ až na výnimky, ktoré si môže každý členský štát upraviť samostatne. Jedná sa napríklad o minimálny vek pre lietanie s UAV, či pravidlá lietania v riadenom vzdušnom priestore. [10]

Nová Európska legislatíva zaradzuje prostriedky UAV do troch kategórií:

„**otvorená**“ kategória

„**osobitná**“ kategória

„**certifikovaná**“ kategória

„**Otvorená**“ kategória bezpilotných lietajúcich prostriedkov sa delí do subkategórií A1, A2 a A3 podľa požiadaviek na pilota a technické parametre UAV. Bepilotné lietadlo v tejto prevádzkovej kategórii nesmie presiahnuť výšku 120 m nad terénom, pričom pri vykonaní letu v horizontálnej vzdialenosti menej ako 50 m od umelej prekážky sa môže na žiadosť subjektu navýšiť maximálna výška až o 15 m nad výškou prekážky. Maximálna výška letu je upravená podľa geografických charakteristík terénu.

Pod „**osobitnú**“ kategóriu prevádzky bezpilotných lietajúcich prostriedkov spadá prevádzka, kedy vzhľadom na špecifické riziká je vyžadované povolenie príslušného úradu na vykonávanie daného letu pred jeho začatím. Príslušný úrad následne posúdi riziká a použije zmierňujúcich opatrení. Ide napríklad o lety, ktoré presiahnu maximálnu povolenú výšku nad terénom, či napríklad lety v zastavaných oblastiach a nad ľuďmi v menšej vzdialenosti ako povoľujú subkategórie „A“.

Jedným z prvých cieľov prichádzajúcej európskej legislatívy je napríklad systém registrácie prevádzkovateľov UAV, čím sa predpokladá zvýšenie bezpečnosti využívania bezpilotných lietajúcich prostriedkov. Výhodou systému registrácie prevádzkovateľov je aj vykonávanie cezhraničných letov a letov v zahraničí. Povoľovanie týchto letov by malo fungovať automatizovane a preto je veľmi dôležité zabezpečiť možnosti elektronickej komunikácie medzi členskými štátmi využívajúcimi tento systém. [10]

4. Súčasný stav Využitia UAV v horskej záchrane

V tejto kapitole si rozoberieme aktuálne využitie konkrétnych typov bezpilotných lietajúcich prostriedkov používaných v Horskej záchranej službe slovenskej republiky a iných štátoch Európskej únie.

V súčasnej dobe sú vo svete používané tisíce modelov UAV a viac než polovica z nich v civilnom sektore. UAV majú oproti inej leteckej technike mnoho prevádzkových výhod. Nasadzované môžu byť do akcií, v ktorých by použitie ľudsky pilotovaných strojov mohlo byť náročné ba dokonca nebezpečné.

4.1. SenseFly Albris

SenseFly Albris je vyspelý mapovací bezpilotný lietajúci prostriedok. Konštrukciou sa jedná o kvadroptéru, ktorá je vybavená konzolou s tromi kamerami pre širokú škálu využitia. Počas letu má užívateľ možnosť prepnutia medzi videom s vysokým rozlíšením a termálnymi snímkami bez toho, aby musel s bezpilotným prostriedkom pristáť, vymeniť kameru a znova vzlietnuť, čo je jeho obrovskou výhodou.

Albris je vybavený piatimi duálnymi senzormi mapovania prekážok a tak je možné ho využiť aj v stiesnených priestoroch akým môžu byť rôzne skalné rokliny. Pri práci s týmto strojom sa využíva aj pokročilý softvér riadenia a plánovania letu eMotion.

Horská záchranná služba slovenskej republiky vlastní jeden bezpilotný lietajúci prostriedok tohto typu a v súčasnosti ho využíva predovšetkým na vertikálne mapovanie svahov, ktoré je obťažné naletieť s inými typmi UAV. Stroj sa využíva aj na mapovanie a fotodokumentáciu nánosov z utrnutých lavín, kedy tieto zábery slúžia k dôkladnej analýze odtrhu a jeho príčiny pri ďalšom skúmaní v stredisku lavínovej prevencie Horskej záchrannej služby v Liptovskom Hrádku.



Obrázok 2: SenseFly Albris. Zdroj: [17].

4.2. SenseFly eBee PLUS

Tento bezpilotný lietajúci prostriedok sa vyznačuje svojou veľmi vysokou presnosťou, ktorá je zabezpečovaná systémom pozemných staníc primajúcich signál GPS, kedy sú údaje upravujúce presnosť zasielané priamo do UAV pomocou pozemného modemu. Tento model využitia zabezpečuje presnosť v horizontálnej rovine okolo troch centimetrov a vo vertikálnej viac ako päť centimetrov. UAV disponuje aj systémom autopilota a dokáže vykonať plne automatický let podľa naplánovanej trasy. Asistencia je nutná jedine pri vypustení prostriedku do vzduchu, keďže sa jedná o pevné krídlo bez podvozku. Následné stúpanie do potrebnej výšky pre zamýšľaný let vykoná autopilot automaticky a po jeho dokončení naplánuje zostupovú rovinu a pristátie do presne vymedzeného smeru s ohľadom na smer vetra a profil okolitého terénu.

Horská záchranná služba prevádzkuje jeden tento bezpilotný lietajúci prostriedok a to predovšetkým na podrobné mapovanie nebezpečných svahov z pohľadu zvýšeného nebezpečenstva možnosti odtrhu snehových lavín. Tento prieskum sa vykonáva metódou porovnania digitálnych modelov terénu v závislosti od ročného obdobia, takže je možné s veľmi vysokou presnosťou určiť hĺbku snehovej pokrývky a jej objem. Zisťuje sa jej rozmiestnenie a hĺbkové rozdiely v pokrývke, ktoré ovplyvňuje mnoho faktorov ako napríklad sila a smer vetra počas periódy sneženia.

4.3. DJI Mavic Enterprise DUAL

UAV je schopné zachytávať video s rozlíšením 4K pri až trojnásobnom digitálnom priblížení. Svojou kompaktnosťou, výkonom a výdržou batérie je oproti ostatným strojom vo veľkej výhode [11]. Horská služba Slovenskej Republiky túto kvadrokoptéru využíva napríklad aj ako prostriedok na tréning pilotáže a školenie nových pilotov, keďže s pomocou vyspelých stabilizačných systémov je jej pilotovanie pomerne jednoduché. Nasadený bol aj do pátracích akcií v ťažko prístupnom teréne, kde si ho záchranári pochvaľovali práve pre jeho nízku hmotnosť, ktorá sa pohybuje okolo 900 g. Pri tejto akcii sa jednalo o lokalizáciu nezvestného človeka v lesnom poraste za pomoci termovíznej kamery.

UAV slúži v neposlednom rade ako pomocník pri mapovaní snehových podmienok v horách a na fotodokumentáciu svahov pre následné spracovanie údajov Strediskom lavínovej prevencie v Liptovskom Hrádku.



Obrázok 3: Špecialisti zo strediska lavínovej prevencie monitorujú svahy v Nízkych Tatrách. Zdroj: [18].

5. Využitie bezpilotných prostriedkov pri lavínových nešťastiach

V praktickej časti práce sa zameriame na výhody, či nevýhody využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov pri záchrane v horách s dôrazom na lavínovú problematiku, a priblížime si taktiež aj víziu a možnosti ďalšieho rozšírenia takejto záchrany v slovenských pohoriach.

Práca horskej záchrannej služby je náročná a veľká časť ostrých zásahov prebieha v nepriaznivých poveternostných podmienkach, alebo v noci. Medzi negatívne vplyvy používania ako konvenčnej leteckej záchrany tak bezpilotných lietajúcich prostriedkov patria práve nepriaznivé meteorologické podmienky, ktoré v horách často prevládajú. Jedná sa napríklad o silný vietor, silné zostupné prúdy a turbulencie, no významný vplyv má v zimných mesiacoch aj tvorba námrazy.

K čoraz častejšie vyhľadávaným zimným aktivitám v horskom prostredí nepochybne patrí skialpinizmus, či lyžovanie vo voľnom teréne. Jedny z najväčších rizík postihujúcich turistov ale aj profesionálnych horolezcov predstavujú lavíny, ktoré v Európe zapríčinia ročne desiatky úmrtí. Vzhľadom na to, že už po desiatich minútach sa pre človeka pochovaného pod lavínou výrazne znižuje šanca na prežitie má veľký význam neustále vyhľadávať spôsoby na čo najefektívnejšiu záchranu zasypaného pri dosiahnutí najkratšieho možného času hľadania. [12]

5.1. Vyhľadávanie osôb pomocou termovízie

Jednou zo skúmaných možností využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov v lavínovej problematike je za pomoci termálneho snímkovania vyhľadanie nezvestných osôb pri lavínových nešťastiach, pričom ide o metódu využitia geografických informácií o okolitom teréne na zaistenie čo najpresnejších a najspohľadlivejších výsledkov pri záchranných akciách. Avšak implementácia takýchto systémov do reálnej prevádzky sa javila ako pomerne náročná najmä pre neprimeranú veľkosť a váhu takýchto zariadení. Ako bolo už vyššie spomenuté, hlavnou komoditou pri prežití v lavíne je čas. Možnosť prežiť pod nánosom snehu klesá na 80 percent už pri prekročení 10 minút

od zasypania. Táto metóda využitia UAV s možnosťou termálneho snímkovania však nedosiahla veľký úspech a to hneď z niekoľkých dôvodov.

- Záchraná misia za použitia kamery na termálne snímkovanie si vyžaduje väčšie množstvo vysoko vyškoleného personálu pre náročnosť činností s ním spojených
- Súčasne dostupné kamery s možnosťou termálneho snímkovania určené na zaznamenávanie obrazu pomocou prostriedku UAV (napr. FLIR Tau 2 IR) nie sú natoľko vyspelé, aby pod snehovou pokrývkou hlbokou 10 až 20 cm dokázali identifikovať akúkoľvek tepelnú stopu [13].

5.2. Analógový lavínový vyhľadávač implementovaný na bezpilotný prostriedok

Ďalšou potenciálne účinnou skúmanou metódou využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov pri lavínových nešťastiach je kombinácia prostriedku UAV a lavínového vyhľadávača naň upevneného. Takéto zariadenie dokáže spoľahlivo identifikovať osobu pod nánosom snehu a pomocou automatizácie letu by táto metóda dokázala výrazne ušetriť čas výsledného dohľadania nezvestného. Avšak aj pri tejto metóde je dôležité brať do úvahy technické aspekty bezpilotného prostriedku, ako napríklad výkon batérií pri nízkej vonkajšej teplote, či schopnosť protizrážkových senzorov potrebných pre vykonanie autonómneho letu reagovať s dostatočnou presnosťou na okolité prekážky (vlnitý terén pokrytý snehom).

Bezpilotný lietajúci prostriedok by pre daný druh operácie mal spĺňať:

- Vykonanie plne automatizovaného letu (vzlet, navigácia po určených bodoch, pristátie)
- Možnosť upevnenia nákladu o hmotnosti približne 1-1,5 kilogramu (lavínový vyhľadávač, termo-kamera)
- Jednoduchosť ovládania aj v náročnom horskom teréne
- Stabilné letové charakteristiky pri zaručení postačujúceho výkonu stroja
- Výdrž letu pri plnom zaťažení (minimálne 10-15 minút)
- Jednoduché naplánovanie, či prípadná modifikácia naplánovaného letu
- Udržanie špecifickej výšky nad nerovným či zvlneným terénom pomocou laserového senzoru

Jednou z výhod vyhľadávania osôb v lavíne pomocou bezpilotného prostriedku je aj fakt, že pri prehľadávaní terénu vie byť stroj oproti profesionálne vyškolenému horskému záchranárovi až štyrikrát rýchlejší, zatiaľ čo pre človeka je pohyb v lavíništi náročný a nedokáže sa pohybovať rýchlosťou vyššou ako 1 m/s. V dnešnej dobe, kedy sú na trhu už prevažne iba viac-anténové lavínové vyhľadávače, ktoré navedú záchranára priamo k postihnutej osobe pomocou smerníkov zobrazených na displeji zariadenia sa čas vyhľadávania opäť o niečo skrátil. [13]

5.3. Digitálne lavínové vyhľadávače – Rušenie lavínového vyhľadávača prevádzkou bezpilotného prostriedku

Budúcnosť moderných digitálnych lavínových vyhľadávačov by mohla byť úzko spätá s využívaním v spojení s bezpilotnými prostriedkami, kde by mohli poberať minimálne také výhody ako tie analógové. Avšak pri všetkých výhodách využitia bezpilotných lietajúcich prostriedkov v kombinácii s moderným lavínovým vyhľadávačom stále narážame na isté nevýhody, ktoré by mohli sťažiť zaradenie takýchto prostriedkov do reálnej prevádzky. Jedným z týchto problémov je aj praktický dosah lavínového vyhľadávača a ovplyvňovanie dosahu a presnosti zariadenia rôznymi elektromagnetickými šumami či inými druhmi rušenia.

Praktickým výskumom sa budeme snažiť v tejto časti práce poukázať na potenciálne výhody či možné obmedzenia ich využitia v súčinnosti s bezpilotnými lietajúcimi prostriedkami, a praktickými meraniami sa zameriame práve na použitie voľne dostupných komerčných lavínových vyhľadávačov v súčinnosti s bežne dostupnými bezpilotnými prostriedkami využívanými v záchraných zboroch po celej Európe. V praktickej skúške s dvoma lavínovými vyhľadávačmi sa pozrieme na to, či blízkosť cudzieho elektromagnetického zariadenia, ktorým môže byť aj bezpilotný lietajúci prostriedok ovplyvňuje presnosť moderného lavínového vyhľadávača s tromi anténami.

Známy fyzikálny jav označovaný ako elektro-magnetický šum výrazne vplyva na vysielanie a prijímanie signálu a tak pri činnosti ovplyvňuje aj lavínové vyhľadávače. Jedná sa predovšetkým o ovplyvňovanie schopnosti presného určenia smeru a vzdialenosti k určenému cieľu. Spomínaný jav je pri používaní takýchto zariadení mimoriadne nežiadúci a výrazne ovplyvňuje presnosť a citlivosť signálu zaznamenaného anténou prístroja. [14][15]

5.4. Vplyv bezprostrednej blízkosti UAV na prevádzku lavínového vyhľadávača

Jednoduchým výskumom zameraným na efekt možnej interferencie medzi moderným, na trhu bežne dostupným lavínovým vyhľadávačom a bezpilotnými prostriedkami DJI, ktoré taktiež patria k veľmi obľúbeným zariadeniam na komerčnom trhu sa budeme snažiť získať jednoduché zistenia, ktoré by mohli byť následne použité k ďalším odborným výskumom efektivity tohto druhu horskej záchranu.

Test možného vplyvu na odchýlku prijímaného signálu sme realizovali na vodorovnej ploche, kedy boli lavínové vyhľadávače umiestnené v jednej osi vzdialené 10 m od seba, čo sme potvrdili indikáciou vzdialenosti a smeru na prístroji prijímajúcom signál (zariadenie „DSP PRO“). Do bezprostrednej blízkosti k aktívnemu lavínovému vyhľadávaču prijímajúcejmu signál sme umiestnili v prvej testovanej situácii bezpilotný prostriedok DJI Mavic 2 Pro. UAV bolo uvedené do prevádzkového režimu, kedy fungoval prenos obrazu z kamery inštalovanej na tomto stroji, avšak pohonné jednotky stroja ostali vypnuté. Testované bol vykonávaný najprv v nastavenom frekvenčnom pásme 2,400 – 2,483 GHz a následne aj 5,725 – 5,850 GHz. Výsledkom bolo, že lavínový vyhľadávač prijímajúci signál okamžite stratil prijímaný signál bez ohľadu na to, ktoré frekvenčné pásmo bolo zvolené a displej zariadenia indikoval, že v dosahu nie je žiadne

vysielajúce zariadenie pričom poloha a stav lavínových vyhľadávačov ostala nezmenená.



Obrázok 4: Strata prijímaného signálu po priložení DJI Mavic 2 PRO do tesnej blízkosti vyhľadávača. Zdroj: [19].

Postupným vertikálnym vzdalovaním bezpilotného prostriedku od aktívneho lavínového vyhľadávača začal displej zariadenia opäť indikovať vzdialenosť a smer k vyhľadávanému zariadeniu. Keď sa UAV nachádzalo približne 10 – 15 cm nad zariadením DSP PRO bola chybovosť indikácie na vzdialenosť 10 m pomerne veľká. Hodnota zobrazovaná na displeji bola o 2,6 m nižšia ako reálna hodnota a smerník k zariadeniu vykazoval vychýlenie od reálneho smeru približne o 20 stupňov. Pri vertikálnej vzdialenosti UAV 50 cm nad lavínovým vyhľadávačom indikovalo zariadenie už správnu hodnotu, rovnakú ako bola nameraná prístrojom pred testom. Nastavenia frekvenčného pásma nezohrávalo v našom teste žiadnu úlohu a zmeny hodnôt boli pri oboch nastaveniach rovnaké. V nasledujúcom teste ostala vzájomná poloha lavínových vyhľadávačov nezmenená, avšak model Mavic 2 PRO bol nahradený väčším strojom A to modelom Inspire 2.

Tieto jednoduché praktické skúšky boli dôkazom toho, že komplexné elektronické zariadenia, medzi ktoré patria nepochybne aj bezpilotné lietajúce spôsobujú svojou prevádzkou silné elektromagnetické rušenie rôznej intenzity. V tomto jednoduchom praktickom teste sme taktiež mali možnosť pozorovať, že čím väčšia bola vertikálna vzdialenosť medzi lavínovým vyhľadávačom a bezpilotným prostriedkom, tým menšie boli odchýlky straty presnosti prístroja indikované na displeji zariadenia.

Presnosť a dosah moderných lavínových vyhľadávačov s tromi anténami je v dnešnej dobe naozaj obdivuhodná, no napriek tomu vyžaduje ich zakomponovanie k záchrane pomocou bezpilotného prostriedku veľkú ostražitosť. Týmto jednoduchým výskumom sme chceli predovšetkým odkázať na potrebu širšieho a omnoho rozsiahlejšieho výskumu uchytenia a všeobecne implementácie digitálnych lavínových vyhľadávačov na bezpilotné prostriedky. Je obzvlášť dôležité vypracovať analýzy rôznych spôsobov uchytenia pričom je podstatné dosiahnuť čo najväčší kompromis medzi

obmedzeniami pri vykonávaní záchranných akcií a potenciálnou silou elektromagnetických vplyvov znižujúcich presnosť lavínového vyhľadávača uchyteného na prostriedku UAV. Jednoduchými testami sme dokázali, že bezprostredná blízkosť dvoch citlivých elektromagnetických zariadení môže v prevádzke takýchto strojov vytvárať nepriateľné odchýlky, ktoré by mohli výrazne narušiť úspešnosť záchranných akcií.

Toto krátke skúmanie malo za cieľ poukázať na možnú kompatibilitu bežne dostupných a používaných zariadení, kedy by ďalším podrobnejším výskumom uchytenia, spôsobu prenosu dát k operátorovi či možnosti eliminovania nepriaznivých vplyvov rušenia mohli byť v Horskom záchrannom zbere použité aj omnoho dostupnejšie a cenovo výhodnejšie systémy na vyhľadávanie osôb pri lavínových nešťastiach. V súčasnej dobe sú moderné lavínové vyhľadávače pre ich nízku hmotnosť a cenovú dostupnosť najrozšírenejšou voľbou extrémnych lyžiarov, horolezcov ako aj bežných turistov pohybujúcich sa v nebezpečnom – lavínovom teréne. Ich možná implementácia na súčasne využívané bezpilotné lietajúce prostriedky vo výbave Horskej záchrannej služby Slovenskej Republiky by mohla znamenať veľké zvýšenie efektivity práce horských záchranárov, ktorí sú často-krát už poslednou nádejou človeka uviaznutého pod nánosom snehu.

Najväčšie výhody využitia takýchto celkov by mohli byť zaznamenané pri misiách, ktoré si vyžadujú prehľadanie veľmi veľkej plochy nánosu lavíny, keďže UAV dokáže takýmto terénom prechádzať rýchlejšie ako človek. Benefitom je jednoznačne aj to, že sa záchranný tím nemusí pohybovať priamo po lavíništi kde by pri ďalšom odtrhu sekundárnych lavín hrozilo záchranárom nebezpečenstvo zasypania.

6. Záver

Bakalárska práca na tému Možnosti využitia bezpilotných prostriedkov v Horskej záchrannej službe spracováva vývoj bezpilotných prostriedkov od ich prvopočiatkov až po najmodernejšie a najsofistikovanejšie stroje, ktoré dokážu poskytnúť s použitím externých zariadení mnoho výhod pri záchrane a suplovať horských záchranárov v situáciách, ktoré by ich vystavovali priveľkému riziku.

Úvodná časť práce poukazuje na vývoj bezpilotných lietajúcich prostriedkov až po praktické využitie moderných verzií týchto strojov v záchranných zložkách. Táto časť zaznamenáva historickú líniu bezpilotných zariadení počnúc využitím vo vojenskej službe či postupným prepracovávaním a zdokonaľovaním sa do štádia, kedy boli postupne pripravené svojou kompaktnosťou a najmä cenovou dostupnosťou poslužiť aj v iných ako armádnych odvetviach. V nasledujúcej časti je popísaný rozvoj horskej záchrany, kde sa autor zameria predovšetkým na históriu nasadzovania leteckej techniky do pátracích akcií. Práve nasadzovanie leteckej techniky znamenalo obrovský progres v horskej záchrane, z dôvodu rýchlejšieho dohľadania postihnutej osoby, čo následne znamenalo rapidný a omnoho šetrnejší transport do medicínskych zariadení, za účelom poskytnutia neodkladnej zdravotnej starostlivosti. Nasadzovanie konvenčnej leteckej záchrany, ale aj bezpilotných prostriedkov nepochybne prináša zjednodušenie a zefektívnenie záchrany nie len v našej krajine, ale prakticky po celom svete.

Následne v práci prispievame analýzou platnej Slovenskej legislatívy, ktorá upravuje pravidlá a obmedzenia vykonávania letov bezpilotnými prostriedkami na území nášho štátu a zasahuje aj do prevádzky horských záchranárov. Analyzovaná je aj Európska legislatíva, ktorá by mala postupnou implementáciou priniesť zjednotenie právnych úprav využívania bezpilotných prostriedkov na území členských štátov. V hlavnej časti práce sú podrobne popísané špecifické typy bezpilotných lietajúcich prostriedkov prevádzkované primárne za účelom horskej záchrany využívané Slovenskou Horskou záchrannou službou a vybranými krajinami Európskej únie. Nechýba podrobný popis činností, pri ktorých horskí záchranári využívajú práve pomoc spomínanej techniky.

Prínosom tejto bakalárskej práce je predovšetkým výskum zameraný na rozšírenie možností využitia bezpilotných prostriedkov pri záchranných akciách, kedy sme sa zamerali predovšetkým na mimoriadne dôležitú časť činností horskej služby a to je lavínovú prevenciu a pomoc osobám uviaznutým pod nánosom lavíny. Skúmaná bola taktiež výpomoc termokamery pri dohľadávaní zasypaných osôb, čo sa však v tejto dobe nejaví ako efektívna možnosť. Krátkym výskumom s použitím digitálneho lavínového vyhľadávača a dvojice bežne dostupných bezpilotných prostriedkov sme získali údaje k ďalším odborným skúmaniam, ktoré by za požadovaného výsledku znamenali možnosť implementácie takéhoto druhu záchrany do portfólia slovenskej Horskej záchrannej služby.

Referencie

- [1] INTERESTING ENGINEERING. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) [online]. Dostupné na internete: <<https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>> (citované 2021-03-10)
- [2] PERCEPTO. The Evolution of Drones: From Military to Hobby & Commercial [online]. Dostupné na internete: <<https://percepto.co/the-evolution-of-drones-from-military-to-hobby-commercial/>> (citované 2021-03-10)
- [3] KROSSBLADE AEROSPACE SYSTEMS. History of quadcopters and other multirotors [online]. Dostupné na internete: <<https://www.krossblade.com/history-of-quadcopters-and-multirotors>> (citované 2021-03-10)
- [4] AIRSPACE. A Brief History of Quadrotors [online]. Dostupné na internete: <<https://www.airspacemag.com/daily-planet/brief-history-quadrotors-180963372/>> (citované 2021-03-10)
- [5] QUADCOPTER ARENA. The history of drones and quadcopters [online]. Dostupné na internete: <<https://quadcopterarena.com/the-history-of-drones-and-quadcopters/>> (citované 2021-03-14)
- [6] DJZ PHOTOGRAPHY. Dji product history timeline [online]. Dostupné na internete: <<https://www.djzphoto.com/blog/dji-product-history-timeline-drones-cameras-gimbals>> (citované 2021-03-14)
- [7] REGA. The operational possibilities open up [online]. Dostupné na internete: <<https://www.rega.ch/en/about-us/rega-in-brief/detail/the-operational-possibilities-open-up>> (citované 2021-03-20)
- [8] DOPRAVNÝ ÚRAD. Lietadlá spôsobilé lietať bez pilota [online]. Dostupné na internete: <<http://letectvo.nsat.sk/letova-prevadzka/lietadla-sposobile-lietat-bez-pilota/>> (citované 2021-03-24)
- [9] 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>> (citované 2021-03-24)
- [10] APROP. Pravidlá lietania s dronmi 2021 | EU legislatíva [online]. Dostupné na internete: <<https://www.aprop.sk/clanok/legislativa-pravidla-lietanie-drony>> (citované 2021-03-28)
- [11] DJI. Case Study Saving Lives in the Desert [online]. Dostupné na internete: <https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2_Enterprise/20181030/Case_Study_Saving_Lives_in_the_Desert.pdf> (citované 2021-04-05)
- [12] HAEGELI, P. a kol. 2011. Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switzerland. In Canadian Medical Association journal [online]. 2011. Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/50595729_Comparison_of_avalanche_survival_patterns_in_Canada_and_Switzerland>. doi:183. 789-95. 10.1503/cmaj.101435 (citované 2021-05-03)
- [13] SILVAGNI, M. a kol. 2016. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. In Geomatics, Natural Hazards and Risk [online]. 2016. no. 1, 18-33. Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/308944512_Multipurpose_UAV_for_search_and_rescue_operations_in_mountain_avalanche_events>. doi: 10.1080/19475705.2016.1238852 (citované 2021-05-11)
- [14] MEISTER, E. - DAMMERT, I. 2014. The Effect of Consumer Electronics on Avalanche Transceivers [online]. Dostupné na internete: <<https://arc.lib.montana.edu/snow-science/item/2213>> (citované 2021-05-13)
- [15] BACKCOUNTRY ACCESS. Electronic noise and what it means for your avalanche transceiver [online]. Dostupné na internete: <<https://backcountryaccess.com/en-sk/blog/p/electronic-noise-and-what-it-means-for-your-beacon-2>> (citované 2021-05-13)
- [16] <https://alchetron.com/Breguet-Richet-Gyroplane>
- [17] http://www.geosolutions.sk/wp-content/uploads/2016/06/albris_f.jpg
- [18] <https://img.cas.sk/cas/900px/3181405.jpg/sneh-dron-horsky-zachranar-laviny-liptovsky-hradok.jpg>
- [19] Autori

METEOROLOGICAL RADIOLOCATOR AS A TOOL TO IMPROVE METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AVIATION

METEOROLOGICKÝ RÁDIOLOKÁTOR AKO NÁSTROJ NA ZLEPŠENIE METEOROLOGICKÝCH INFORMÁCIÍ PRE LETECTVO

Radoslava Hanuliaková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
radkahanuliakova@gmail.com

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

Abstract

The paper deals with meteorological radar as a tool to improve meteorological information for aviation. The first theoretical part is devoted to the history of weather forecasting and its gradual improvement. The part describes the current state of the problem in the Slovak Republic and in the world. The next part characterizes the meteorological radar, what it is used for and what is its essence. The following is the division of radars, characteristics of the radar network in Europe and the radar network in Slovakia. In the last theoretical part, attention was paid to the merged maps, their individual products - Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop and 1h total precipitation. The last part consists in a practical representation and description of individual maps of the cold, warm and occlusive front over the territory of the Slovak Republic. These maps show how the radar captured the weather, SYNOP reports were also used, which provide a more detailed weather forecast, maps of dangerous phenomena for aviation and maps from the OPERA network.

Keywords

Meteorological radiolocator, Slovak Hydrometeorological Institute, Maximum, EchoTop, CAPPI 2 km, 1h total precipitation.

1. Úvod

Okrem meteorologických informácií z pozemných meraní sú veľmi dôležité aj informácie z meteorologických družíc a radarov. V tejto práci sa budeme venovať najmä meteorologickým rádiolokátorom, krátkou históriou, súčasným stavom na území Slovenskej republiky a vo svete, rozdeleniu rádiolokátorov, opisu ich práce, základným produktom - Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop, 1h úhrn zrážok a prečo sú pre letectvo dôležité. Meteorologickú službu na našom území poskytuje Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), ktorá je poskytovaná v súlade s predpisom L3 - Letecká meteorologická služba. V súčasnej dobe je bez meteorologického rádiolokátora činnosť meteorologickej služby nepredstaviteľná. Slovenská rádiolokačná sieť pozostáva zo 4 rádiolokátorov Meteor 735 CDP10 od výrobcu Selex-Gematronik, ktoré boli inštalované v roku 2015. Za celosvetové poskytovanie meteorologických služieb zodpovedá Svetová meteorologická služba (WMO). V závere práce sa čitateľ môže oboznámiť s výsledkami nášho skúmania, ktorého cieľom bolo detegovať jednotlivé meteorologické javy nad naším územím a určiť, či sú tieto javy pre letectvo nebezpečné alebo nie. Tieto meteorologické javy sú znázornené na snímkach, ktoré nám meteorologický rádiolokátor ukázal počas toho, ako našim územím prechádzal oklúzny front. Priložená je mapa prízemného tlakového poľa, mapa nebezpečného počasia pre letectvo a snímka zo siete OPERA, ktorá znázorňuje počasie nad územím Európy. Na záver tejto časti sme použili správy SYNOP, ktoré nám pomohli pri podrobnejšom určovaní počasia.

2. História

Už mnoho rokov dozadu ľudia začali pozorovať prírodu, zmeny počasia a prírodné javy, aby vedeli predpovedať aké počasie bude. Prvé merania teploty a tlaku vykonal Ján Adam Reimann v rokoch 1717 - 1720 v Prešove. V roku 1871 Mikuláš Konkoly založil pozorovacie observatórium v Hurbanove. Rok 1939 sa vyznačuje ako významný, pretože na území Slovenskej republiky bol založený Štátny meteorologický a hydrologický ústav, na ktorom si niesol zásluhu Mikuláš konček, ktorý taktiež predstavil klimatickú klasifikáciu na základe indexu zavlažovania, ktorá sa používal najmä na našom území. Ďalším dôležitým krokom bol opis rozpadu vodných kvapiek, ktorý sa používa aj v súčasnej dobe. V priebehu druhej svetovej vojny sa pre letectvo stal veľmi dôležitý meteorologický radar, ktorý včas hlásil riziká spojené s počasím. Samozrejme aj ostatné prístroje hrali veľkú rolu. Rádiosondy sa využívali na výškové meteorologické merania, anemometre na meranie smeru a rýchlosti vetra v oblasti letiska, ktoré poskytovali veľmi potrebné informácie pri vzlete a pristáti a ceilometre na meranie výšky základne oblakov nad letiskom. Prelomovým zistením bol objav dýzového prúdenia, čo ovplyvnilo povojnové operácie civilného letectva. Spotreba paliva bola ovplyvňovaná silnými vetrami charakteru dýzového prúdenia [1].

50. roky súviseli s prudkým nárastom civilného letectva, ktorý zahŕňal rozvoj transoceánskych letov a leteckej meteorológie. Letecká meteorológia musela spĺňať požiadavky letu vo vysokej nadmorskej výške a bolo potrebné vykonať množstvo vylepšení.

V 60. rokoch sa zdokonaľovali aj schémy numerických predpovedí počasia od jednoduchých atmosférických modelov po zložitejšie. V tomto období sa zdokonaľovali systémy automatického získavania, zhromažďovania a spracovania primárnych a sekundárnych informácií a tento trend pretrváva dodnes. Toto obdobie bolo dôležité z dôvodu charakteristík prijímania informácií z umelých družíc Zeme (4. októbra 1957 vypustenie prvej umelej družice Sputnik). Meteorologické družice poskytovali informácie o počasi potrebné pre letectvo, aby umožňovali pozorovanie umiestnenia a štruktúru frontálnych systémov a pásiem zrážok, pohyb a vývoj búrkových oblačných systémov a tvorbu nebezpečných tropických cyklón [4].

Ďalším prelomovým krokom bol vznik Svetovej meteorologickej organizácie (WMO), ktorá spolupracuje v oblasti meteorologických, klimatologických, hydrologických a geofyzikálnych pozorovacích sietí, ale aj vzájomne vymieňa a spracováva namerané údaje medzi krajinami, ktoré tieto organizácia združuje. Rovnako dôležité sú aj organizácie Národného úradu pre letectvo a vesmír (NASA) - USA a Európskej vesmírnej agentúry (ESA) - Európa, ktoré okrem iného svojimi družicami a radarmi spresňujú predpoveď počasia.

Významným obdobím bol rok 1979, kedy vznikol na Slovensku SHMÚ. Táto organizácia poskytuje meteorologické a hydrologické služby na národnej aj medzinárodnej úrovni. SHMÚ monitoruje kvantitatívne parametre stavu ovzdušia a vôd na území Slovenskej republiky, zhromažďuje, overuje, hodnotí, archivuje a interpretuje údaje a informácie o stave a režime ovzdušia a vôd, popisuje deje v atmosfére a hydrosfére, tvorí a vydáva meteorologické a hydrologické predpovede, výstrahy a informácie.

3. Súčasný stav riešenej problematiky

Na území Slovenskej republiky v súčasnej dobe meteorologickú službu pre civilné letectvo poskytuje SHMÚ. Letecká meteorologická služba pre civilné letectvo je poskytovaná v súlade s predpisom L3 - Letecká meteorologická služba. Meteorologické informácie sú poskytované všetkým leteckým prevádzkovateľom, pracoviskám riadenia letovej prevádzky, prevádzkovateľom letísk, posádkam lietadiel, pátracím a záchranným službám a iným zložkám, ktoré ich potrebujú na zabezpečenie svojej činnosti.

Rozdeľujeme ich na primárnu a sekundárnu informáciu. Primárna informácia sa získava z meteorologických pozorovaní a je to informácia o aktuálnom počasi. Sekundárna je informácia o pozorovanom počasi vo forme kódovaných informácií, prízemných poveternostných máp, aerologických diagramoch a vertikálnych rezoch atmosférou. Na získanie týchto informácií slúži sieť pozemných meteorologických staníc, radarov a družíc a pozorovania z lietadiel [1] [3] [6].

4. Meteorologické pozorovania a merania vo svete

Vo svete je za organizáciu a odborné riadenie výskumu atmosféry a globálne poskytovanie meteorologických služieb zodpovedné WMO. Je to medzivládna organizácia, ktorá má 193 členských štátov. Podporuje spoluprácu v oblasti meteorologických, klimatologických, hydrologických a geofyzikálnych pozorovacích sietí a taktiež vzájomnú výmenu a spracovanie nameraných údajov. Venuje pozornosť vzájomnej

spolupráci medzi národnými meteorologickými ústavmi členských štátov a o ďalšiu aplikáciu meteorológie pre potreby verejnosti, poľnohospodárstva, letectva, dopravy, životného prostredia, vodného hospodárstva a na zmiernenie dopadov prírodných katastrof. WWW, ktorá existuje od apríla 1968 slúži ako celosvetový meteorologický systém na poskytovanie dostupných meteorologických informácií pre prevádzkové alebo výskumné účely [4].

Komisia pre leteckú meteorológiu vyvíja služby v spolupráci s medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo (ICAO) a je taktiež hlavným koordinátorom odborného rozvoja leteckých meteorologických služieb členských štátov WMO. ICAO je organizácia zameriavajúca sa na vypracovanie, rozvoj a štandardizáciu postupov pre meteorologické zabezpečenie leteckej dopravy. Meteorologický odbor ICAO má v právomoci celosvetovú unifikáciu pravidiel a postupov používaných pri zabezpečení leteckej prevádzky [4].

5. Meteorologické pozorovania a merania na Slovensku

Meteorologické merania a pozorovania na Slovensku zabezpečuje SHMÚ, odborná organizácia, ktorá pôsobí na celom území Slovenska a poskytuje klimatické a meteorologické informácie, informácie o kvalite ovzdušia, stave a režime vôd diagnostického aj predpovedného charakteru pre operatívne aj neoperatívne využitie. Činnosť SHMÚ sa riadi zákonom 201/2009 Z. z. o štátnej hydrologickej službe a štátnej meteorologickej službe.

Ústredné pracovisko SHMÚ sa nachádza v Bratislave na Kolibe, regionálne pobočky v Banskej Bystrici, v Košiciach a v Žiline. Ďalšie špecializované pracoviská sú v Bratislave - letisko, ktoré slúži na predpovedanie počasia pre letectvo, v Poprade - Gánovciach (aerologické a radiačné centrum), na Malom Javorníku, Kojšovskej holi, Špaňom laze a na Kubínskej holi (pracoviská rádiolokačných meraní), v Jaslovských Bohuniciach (meteorologické zabezpečenie jadrových elektrární) a 21 profesionálnych observatórií a meteorologických staníc [4] [5].

Letecká meteorologická služba zabezpečuje činnosti, ktoré slúžia pre potreby civilného letectva, zostavovanie predpovedí počasia pre potreby civilného letectva, vydávanie jednotlivých druhov výstrah na nebezpečné poveternostné javy pre leteckú prevádzku, príprava letovej dokumentácie a poskytovanie informácií, konzultácií a brífingu posádkam lietadiel, tvorba klimatologických tabuliek a prehľadov vybraných meteorologických prvkov pre slovenské letiská, prevádzka profesionálnych staníc na letiskách.

Meteorologické údaje získané sledovaním a meraním na prízemných meteorologických staniciach alebo pomocou meteorologických radarov a umelých družíc sú základom pre prípravu predpovedí počasia, ako aj rozsiahleho množstva klimatologických a hydrologických informácií. Získané informácie sú v krátkom čase zaslané do národného meteorologického centra SHMÚ, kde sa prijímajú predspracované dáta alebo hotové produkty z regionálnych meteorologických centier a vykonáva vlastné spracovanie dát a interpretáciu prognostických numerických produktov [4].

6. Meteorologický radar

Meteorologický radar je zariadenie, ktoré určuje priestorové rozloženie oblačnosti a zrážok. Bez neho je činnosť modernej meteorologickej služby v súčasnej dobe nepredstaviteľná. Je to zariadenie, ktoré pomocou elektromagnetických vln určuje priestorové rozloženie okamžitej intenzity atmosférických zrážok, horizontálneho a vertikálneho rozsahu oblačnosti a výskyt javov spojených s oblačnosťou. Vďaka plošnému pokrytiu a dobrému priestorovému a časovému rozlíšeniu dát dopĺňujú sieť pozemných staníc. Poskytujú okamžitý prehľad o pohybe a štruktúre zrážkových systémov a sú zdrojom informácií pre krátkodobú predpoveď a varovania pred nebezpečnými javmi súvisiacimi s konvektívnou oblačnosťou.

Podstatou radaru je vysielanie rádiovéj vlny patričného kmitočtu do celého priestoru. Vysielač generuje krátke impulzy s okamžitým vysokým výkonom. Elektromagnetická energia sa do atmosféry prenáša parabolickou anténou s priemerom niekoľko metrov v tvare úzkeho zväzku konkrétnym smerom a konkrétnym výškovým uhlom. V atmosfére sa časť energie odráža od:

- vodných kvapiek, krúp, sopečného prachu,
- terénnych tvarov, lietadiel.

Malá časť odrazenéj energie tohto impulzu sa vracia k radaru zo vzdialenosti niekoľko stoviek kilometrov. Tam je zachytená prijímacou anténou, zosilňovaná a detegovaná prijímačom radaru. Následne sa vyhodnotí časový rozdiel medzi vyslaním a prijatím impulzu. Polohou antény a doby medzi vyslaním a prijímaním signálu sa určuje poloha cieľa. Intenzitu cieľa predstavuje množstvo odrazenéj energie, ktoré je úmerné rádiolokačnej odrazivosti cieľa. Rádiolokačná odrazivosť je meraná v decibeloch. Hodnoty decibelov sa zvyšujú s rastúcou intenzitou signálu odrazeného od meteorologického cieľa smerom k radaru. Na stanovenie rôznych intenzít odrazivosti sa na radarovej snímke zvyčajne používajú rôzne farby.

Radary vykonávajú objemové merania každých 5 minút a softvér umožňuje na základe týchto meraní vytvárať rôzne produkty. Vlnová dĺžka používaná radarom sa zvyčajne pohybuje medzi 1 a 10 cm, niekedy 15 cm. Čím je vlnová dĺžka kratšia, tým je vyššie rozlíšenie radaru. Vlnová dĺžka 5 cm je najčastejšie používaná v miernych zemepisných šírkach. Výkon jedného impulzu, trvajúceho medzi 0,1 μ s až 5 μ s je 10 až 1000 kW. Šírka zväzkového kužela je asi 1°, pričom hranica tohto kužela je tam, kde výkon žiarenia oproti centrálnej časti poklesne na polovicu. Okrem hlavného laloka, vysielačia anténa tvorí slabšie bočné laloky. Účinný dosah meteorologických radarov pre určovanie intenzít zrážok je približne 100-250 km, pre detekciu búrkovej oblačnosti do 250-300 km. Schopnosť radaru detegovať javy klesá s rastúcou vzdialenosťou, čo je spôsobené geometriou šírenia lúča nad zakriveným povrchom Zeme a útlmom v atmosfére [4].

Tabuľka 1: Farby rádiolokačnej odrazivosti zodpovedajúce rôznej intenzite zrážok a prejavom počasia. Zdroj: <http://www.meteoradar.cz/o-radaru.php>

Intenzita	Farba, odrazivosť	Zrážky [mm.h ⁻¹]	Prejav
Slabá	Fialová, modrá 4-16 dBZ	< 0,5	Mrholenie
Stredne silná	Zelená 20-32 dBZ	okolo 4	Slabý alebo mierny dážď, žiadna alebo slabá turbulencia, možnosť zníženej dohľadnosti
Silná	Žltá, oranžová 36-44 dBZ	okolo 10	Silný dážď, mierna turbulencia, veľmi nízka dohľadnosť
Veľmi silná	Červená 48-56 dBZ	okolo 70	Prívalový dážď, búrka, silná turbulencia
Extrémna	Bielá 60 dBZ	> 100	Krúpy

Meteorologické radary sa podľa spôsobu funkcie rozdeľujú na:

- **monostatický** - používa sa na vysielanie signálu a prijímanie odrazeného signálu jednu anténu; väčšina používaných radarov je tohto typu,
- **bistatický** - má antény vysielača a prijímača umiestnené na rozdielnych miestach, vzdialenosť medzi nimi môže byť pomerne veľká, antény musia byť zamerané na rovnaký cieľ, signál z tohto cieľa je rozptýlený vo viacerých smeroch, prijímacia anténa musí odrazený signál zachytiť.

Meteorologické radary sa podľa umiestnenia a spôsobu funkcie rozdeľujú na:

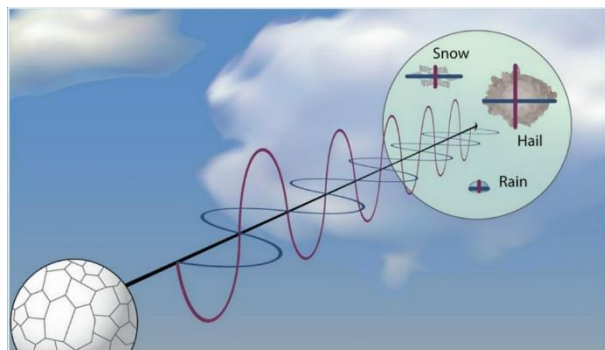
- **pozemné** - umiestnené na zemskom povrchu (dopplerov radar, dual-polarizačný radar),
- **palubné** - umiestnené na palube lietadiel [4].

6.1. Dopplerov radar

Špeciálny druh radaru, ktorý je schopný merať rýchlosť cieľa vďaka dopplerovmu efektu. Pracuje na princípe zmeny frekvencie vlny po jej odraze od pohybujúceho sa objektu (častice v atmosfére) vzhľadom k radaru, ktorý je v pokoji. Pri pohybe zdroja zvuku je posun vo frekvencii priamo úmerný rýchlosti zdroja, čo platí aj pre elektromagnetické žiarenie vysielané z radaru. Pri pohybe objektu k radaru je frekvencia vyššia a od radaru klesá. Radar porovnáva frekvenciu prijatého signálu s frekvenciou signálu vyslaného radarom. Potom sa meria posun frekvencie, ktorý je priamo úmerný rýchlosti [4].

6.2. Dual-polarizačný radar

Využíva najnovšiu technológiu. Vysiela impulzy smerované horizontálne aj vertikálne. Po odrazení vyslaného signálu od objektu sa signál vráti späť k radaru a je možné určiť tvar objektu. Tento spôsob detekcie pomáha pri identifikovaní mikrofyzikálnej štruktúry oblačnosti - druhu zrážok v oblačnosti (sneh, krúpy, dážď a oblasti prechodu medzi tuhými a kvapalnými zrážkami) [4].



Obrázok 1: Princíp funkcie dual-polarizačného radaru.
Zdroj: <https://www.weather.gov/news/130425-dualpol>

6.3. Palubný radar

Používa sa na zabránenie stretu s nebezpečnými javmi počasia, čím prispieva k zvýšeniu bezpečnosti letu. Hlavnou úlohou je varovať posádku lietadla pred výskytom mohutnej konvektívnej oblačnosti a prípadnej búrky z nej. Používa sa aj na mapovanie terénu. Nachádza sa v prednej časti lietadla a v súčasnej dobe je povinnou výbavou. Na farebnom displeji sa zobrazujú údaje získané meraním pomocou farebnej stupnice [4].

7. Radarová sieť v Európe

Na výmenu informácií z radaru sa v Európe využíva meteorologický program OPERA, do ktorého je zapojených 30 európskych krajín, kde sa nachádza aj Slovenská republika. Účelom je koordinácia a zlepšenie operačnej výmeny radarových údajov medzi jednotlivými národnými meteorologickými službami. V dnešnej dobe tvorí túto sieť 184 dopplerovských a dual-polarizačných radarov, tieto radary dosahujú do vzdialenosti 200 - 400 km. Najsevernejší radar Hasvikov je v Nórsku, kde sa nachádza aj najvýchodnejší radar v Berlevaagu. Najjužnejší radar je Artenara na Kanárskych ostrovoch. Najzápadnejší sa nachádza na Islande v Keflavíku [4].

8. Radarová sieť na Slovensku

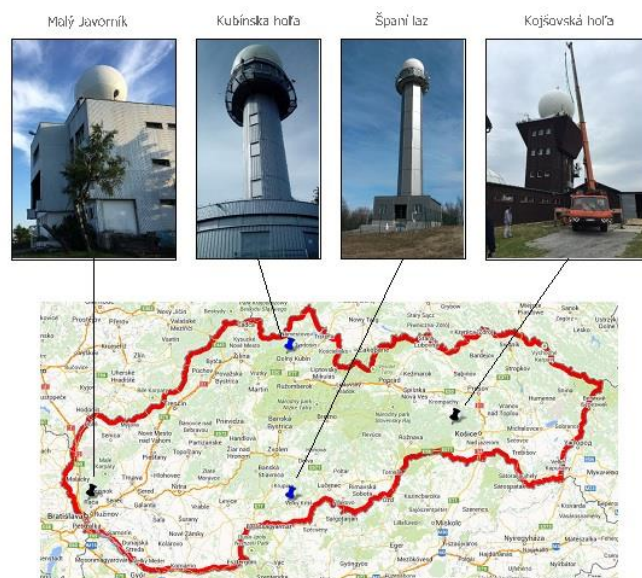
Táto rádiolokačná sieť je tvorená zo 4 meteorologických rádiolokátorov Meteor 735 CDP10 od výrobcu Selex - Gematronik pracujúcich na vlnovej dĺžke 5 cm, C pásmo. Inštalácia prebehla v roku 2015 v rámci projektu budovania protipovodňového a varovného systému POVAPSYS [4] [5].

Dva z nich nahradili pôvodné rádiolokátory na už existujúcich bodoch:

- na Malom Javorníku, v Malých Karpatoch 6 km od Bratislavy (584 m. n. m.),
- na Kojšovskej holi, vo Volovských vrchoch 38 km od Košíc (1 240 m. n. m.).

Ďalšie dva boli nainštalované na nových bodoch:

- na Kubínskej holi, v Oravskej Magure (1 405 m. n. m.),
- na Španíľom laze, pri Veľkom Krtíši (619 m. n. m.) [4] [5].



Obrázok 2: Umiestnenie meteorologických rádiolokátorov SHMÚ.
Čierne – pôvodné body, modré – nové body. Zdroj: <http://www.shmu.sk/Image/DMS/ODM/OBR1.jpg>

Namerané objemové údaje sa prenášajú z rádiolokátorov na centrálny server umiestnený na pracovisku SHMÚ Koliba a potom z nich špeciálny softvér vytvára rôzne produkty podľa požiadaviek užívateľov. Okrem toho objemové údaje vstupujú aj do medzinárodnej výmeny v sieti OPERA a do výmeny so susednými štátmi. OPERA vytvára tri rôzne produkty, ktoré sa aktualizujú každých 15 minút - Maximum, CAPPI 1 km a 1 h úhrn zrážok. Produkt maximálnej odrazivosti sa zobrazuje ako animácia na webovej stránke EUMETNET.

Z produktov všetkých štyroch rádiolokátorov sa každých 5 minút vytvára zlúčená rádiolokačná informácia na serveroch umiestnených na pracovisku SHMÚ Koliba. Pre potreby užívateľov sa vytvárajú základné produkty Maximum, CAPPI 2 km, EchoTop a 1 h úhrn. Softvér vytvára aj ďalšie produkty, ktoré sú uvedené v zozname produktov z radarov SHMÚ [2][5].

Maximum

Produkt maximálnej odrazivosti vo vertikálnom stĺpci. Slúži hlavne na sledovanie búrkovej oblačnosti. Pretože sú v ňom znázornené maximá odrazivosti z celého vertikálneho profilu troposféry, vo väčšine prípadov zobrazené odrazy nepredstavujú zrážky dopadajúce na zemský povrch [5].

CAPPI 2 km

Produkt rádiolokačnej odrazivosti v konštantnej nadmorskej výške 2 km. Zodpovedá zrážkam dopadajúcim na zemský povrch. Je nutné brať do úvahy, že hydrometeory v nadmorskej výške 2 km sa môžu pri svojom páde vypariť alebo byť unášané vetrom. Vo väčšej vzdialenosti od rádiolokátorov, kde lúč pri nižšej výške antény presahuje nadmorskú výšku 2 km, sú chýbajúce dáta doplnené odrazivosťami z väčších nadmorských výšok.

Bright band sú oblasti, ktoré sa môžu vyskytovať v okolí radarov v prípade trvalých zrážok z vrstevnatej oblačnosti so zvýšenou rádiolokačnou odrazivosťou. Majú tvar sústredných kružníc alebo ich časti. Vyššia odrazivosť sa nachádza vo vrstve topenia, ktorá sa musí nachádzať blízko pri nadmorskej výške 2 km, kde dochádza k oboľovaniu ľadových kryštálikov malou vrstvou vody, takže ľadové kryštáliky sa prejavujú ako veľké kvapky s vysokou odrazivosťou a majú zvýšenú pádovú rýchlosť hydrometeorov kvôli zmene ich tvaru. Pri topení - zaoblenia, čo sa prejavuje zníženou koncentráciou hydrometeorov a tým aj odrazivosťou pod vrstvou topenia. Keď nastane kombinácia týchto dvoch efektov vznikne výrazné zvýšenie odrazivosti vo vrstve topenia.

V letnom období možno na snímkach pozorovať odrazy v tvare úzkych lúčov, ktoré smerujú k rádiolokátoru tam, kde sa nevyskytujú zrážky ani oblačnosť. Ide o falošnú lokalizáciu vzdialených intenzívnych búrok, ktoré rádiolokátor nezachytí - second-trip alebo multi-trip echá. Za normálnych okolností je odrazený signál od zrážok mimo dosah rádiolokátora dostatočne zoslabený, preto nie je prijímačom rádiolokátora zaznamenaný. V prípade intenzívnych vzdialených búrok je odrazený signál v prijímači detegovaný. Tento signál je však nesprávne priradený k nasledujúcemu impulzu, ktorý bol medzičasom vyslaný z rádiolokátora. Rádiolokátor takýto odraz lokalizuje na nesprávnom mieste, bližšie k rádiolokátoru, ako je v skutočnosti [5].

EchoTop

Produkt výšky hornej hranice rádioecha. Zobrazuje najvyššiu nadmorskú výšku v každom bode, ktorú dosahujú detegované odrazy s určitou maximálnou rádiolokačnou odrazivosťou > 6 decibelov, menšiu nie je schopné zachytiť, kvôli citlivosti rádiolokátora. Výška hornej hranice rádioecha zvyčajne nezodpovedá výške hornej hranice oblačnosti, ktorá dosahuje vyššie hodnoty. Tento produkt slúži na určenie vertikálnej mohutnosti búrkových oblakov a je veľmi užitočný pri riadení letovej prevádzky [5].

1 h úhrn zrážok

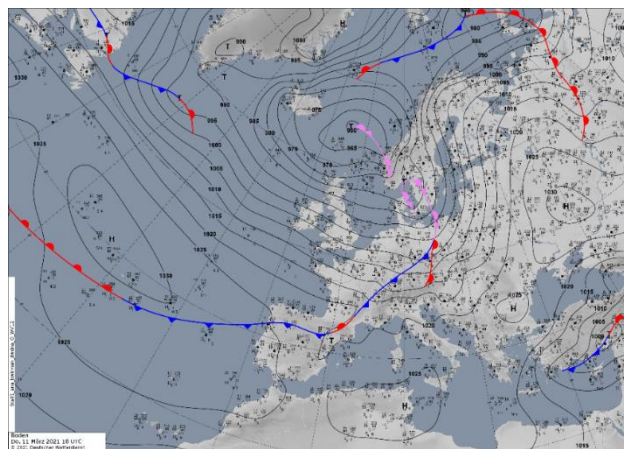
Produkt hodinový úhrn zrážok je určený pomocou polarimetrických meraní. Podáva informáciu o kumulovanom úhrne zrážok z rádiolokačnej odrazivosti. Je počítaný z intenzít zrážok, ktoré sú pre nižšie intenzity odvodené z meraní rádiolokačnej odrazivosti a pre vyššie intenzity spresnené pomocou polarimetrickej veličiny. Intenzity zrážok sú počítané z meraní na hladine 0,5 km nad zemským povrchom tam, kde nie sú dáta z tejto hladiny k dispozícii, z najbližšej dostupnej hladiny [5].

9. Detegovanie meteorologických javov

Pretože sa v leteckej doprave využíva veľké množstvo lietadiel, každá meteorologická informácia je dôležitá pre zabezpečenie bezpečného letu. Existujú však poveternostné situácie, z ktorých niektoré môžu predstavovať riziko. Venovali sme sa možnosti detegovania meteorologických javov nad naším územím. Prakticky sme tieto javy ukázali na poveternostných situáciách, kedy cez naše územie postupoval oklúzny front. Tieto javy sme si pozreli na snímkach meteorologického rádiolokátora, ako základné produkty toto počasie znázornili a aká bola odrazivosť. Použili sme aj mapu nebezpečných javov pre letectvo, mapu z európskej rádiolokačnej siete OPERA a správu SYNOP. Na

rozkódovanie sme použili správu z letiska Žilina/Hričov, aby sme potvrdili, že použité snímky ukazujú pravdivé informácie.

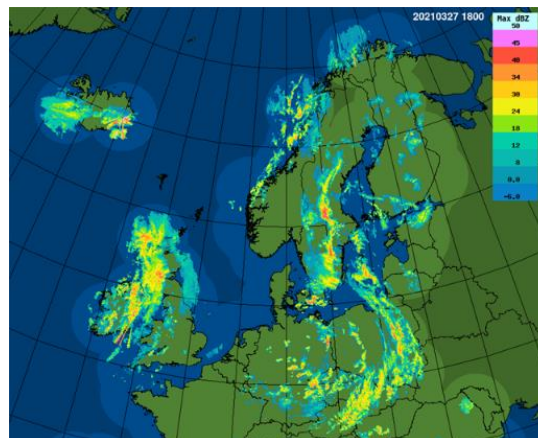
9.1. Oklúzny front



Obrázok 3: Mapa prízemného tlakového poľa 27. marca 2021. Zdroj: <http://www.skystef.be/forecast4m.html>

Na tejto mape zo dňa 11. marca 2021 18:00 UTC sme mohli vidieť, že studený front dobieha teplý front. Následne, keď sa tieto dva fronty spojili, na našom území sa nachádzal oklúzny front. Tento front bol sprevádzaný zvýšenou oblačnosťou a intenzívnymi zrážkami na veľkej ploche.

9.2. OPERA



Obrázok 4: Radarové údaje zo siete OPERA 27. marca 2021. Zdroj: <https://www.eumetnet.eu/activities/observations-programme/current-activities/opera-radar-animation/>

Na tejto mape, ktorú sme získali z európskej rádiolokačnej siete OPERA 11. marca 2021 20:00 UTC sa zobrazuje produkt maximálnej odrazivosti. Z tejto snímky sme určili, že v strednej časti Európy bola odrazivosť od 18 do 34 dBZ (zelená až oranžová), čo znamená, že odrazivosť bola stredne silná až silná a teda nad týmto územím mohla nastať slabá až mierna turbulencia. To prináša hrozbu pre leteckú dopravu.

9.3. Správa SYNOP zo stanice Žilina/Hričov 19:00 UTC

AAXX 11191 11841 41233 82803 10005 21002 39739 40122 72277 885 // 333 82705 84621 88636

11191

- 11 - dátum v mesiaci
- 19 - čas pozorovania, 19:00 UTC
- 1 - anemometer, m/s

11841

- 11 - stredná Európa
- 841 - Žilina/Hričov

41233

- 4 - stále poznávacie číslo skupiny
- 1233 - tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora 1023,3 hPa

82803

- 8 - kompletná informácia o oblakoch
- 2 - množstvo nízkej alebo strednej oblačnosti
- 8 - typ nízkej oblačnosti (stratus cumulus, cumulonimbus)
- 0 - typ strednej oblačnosti (altostratus, nimbostratus, altocumulus)
- 3 - typ vysokej oblačnosti (cirrus, cirrostratus, cirrocumulus)

10005

- 1 - stále poznávacie číslo skupiny
- 0 - znamienko teploty (kladné)
- 005 - teplota vzduchu 0,5 °C

21002

- 2 - stále poznávacie číslo skupiny
- 1 - znamienko teploty (záporné)
- 002 - teplota rosného bodu -0,2 °C

39739

- 3 - stále poznávacie číslo skupiny
- 9739 - tlak vzduchu v nadmorskej výške tlakomera na stanici 973,9 hPa

40122

- 4 - stále poznávacie číslo skupiny
- 0122 - tlak vzduchu prepočítaný na hladinu mora 1012,2 hPa

72277

- 7 - stále poznávacie číslo skupiny
- 22 - stav počasia - sneženie
- 77 - priebeh počasia za posledných 6 hodín - snehové zrná

885

- 8/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov sa nedá určiť kvôli tme

333

- poznávacie číslo skupiny

82705

- 2/8 - Stratus, výška základne oblakov 150 m

84621

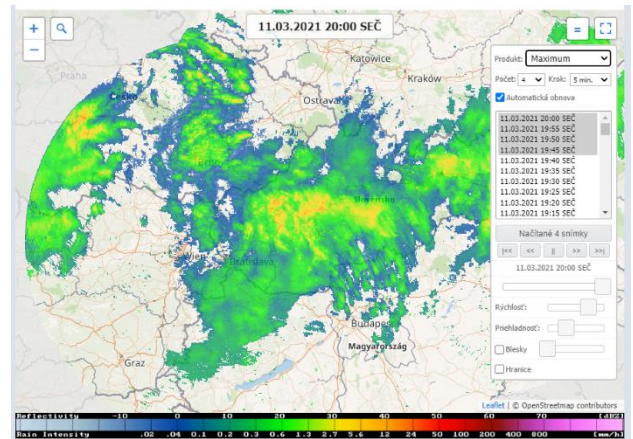
- 4/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov 600 m

88636

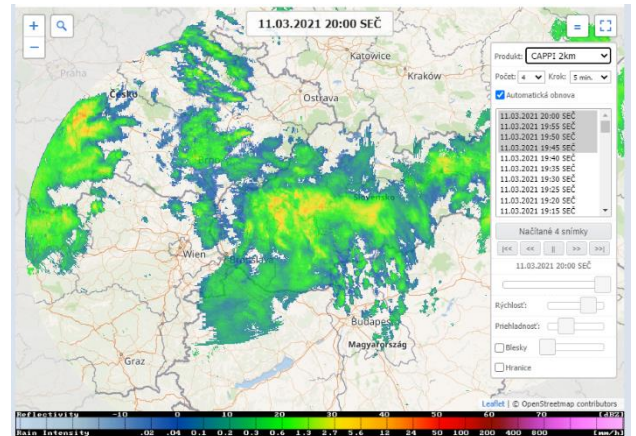
- 8/8 - Stratocumulus, výška základne oblakov 1000 m

9.4. Maximum

Obrázok 5: Zlúčená mapa - Maximum 11. marca. Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>



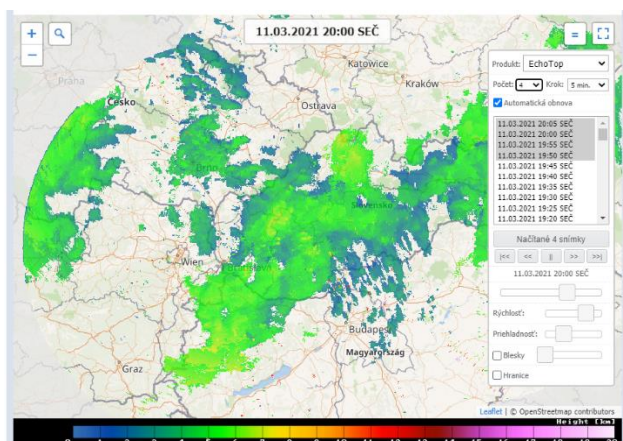
Na tejto mape, ktorú sme získali zo slovenskej radarovej siete 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt maximálnej odrazivosti. Takže z tejto snímky sme určili, že nad územím Slovenskej republiky bola odrazivosť vysoká od 15 do 35 dBZ (zelená až žltá), čo znamená, že odrazivosť je stredne silná až silná. Nad týmto územím sa nenachádzali žiadne búrky, ale mohla nastať slabá až mierna turbulencia. Podľa tejto snímky sme určili, že nad našim územím sa nachádzali veľké hrozby pre leteckú dopravu.

9.5. CAPPI 2 km

Obrázok 6: Zlúčená mapa - CAPPI 2 km 11. marca 2021. Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Z tejto snímky zo dňa 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt CAPPI 2 km - odrazivosť vo výške 2 km. Vo výške 2 km nad územím Slovenskej republiky bola odrazivosť od 15 do 35 dBZ (zelená až žltá), čo znamená, že odrazivosť bola stredne silná až silná. Teda nad týmto územím sa vyskytol slabý až mierny dážď a mohla nastať slabá až mierna turbulencia. To znamená prínos väčšej hrozby, čo je pre plynulosť leteckej dopravy ohrozujúce.

9.6. EchoTop



Obrázok 7: Zlúčená mapa - EchoTop 11. marca 2021
Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Na tejto mape, ktorú sme získali zo slovenskej radarovej siete 11. marca 2021 21:00 UTC sa zobrazuje produkt EchoTop - výška, v ktorej sa nám môže objaviť odrazivosť. Je to dôležitý produkt pre letectvo, pretože nám dokáže povedať v akej výške sa lietadlo môže stretnúť s vrcholom oblačnosti. Z tejto snímky sme určili, že odrazivosť sa nad územím Slovenskej republiky objavila v 4 až 6 km (modrá až zelená).

9.7. 1 h úhrn



Obrázok 8: Zlúčená mapa - 1 h úhrn zrážok 11. marca 2021.
Zdroj: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2322>

Posledným produktom, ktorý je znázornený na tejto snímke je hodinový úhrn zrážok - informácia o kumulovanom úhrne zrážok k radarovej odrazivosti. Podľa informácií, ktoré nám táto snímka poskytla, sme mohli vidieť, že nad naším územím sa v oblakoch nachádzalo 3 až 5 mm zrážok.

9.8. Počasie v letectve

Poslednou mapou je mapa nebezpečných javov v letectve zo dňa 11. marca 2021. Z nej vieme určiť, že nad územím Slovenskej republiky radar zachytil oblačnosť, ktorá predstavovala námrazu a turbulenciu.

10. Záver

V súlade s cieľom tejto práce, detegovať meteorologické javy nad našim územím sme sa snažili vystrihnúť najvhodnejšie situácie, kedy snímky z rádiolokátora ukazovali najväčšiu odrazivosť, aby sme vedeli ukázať, kedy je počasie pre letectvo nebezpečné.

Zvolený bol deň, kedy našim územím prechádzal oklúzny front, teda odrazivosť z rádiolokátora bola vysoká. To značilo, že nad našim územím sa nachádzalo veľa oblačnosti, intenzívne zrážky a taktiež sa mohla vyskytnúť slabá až mierna turbulencia. Mapa nebezpečného počasia pre letectvo ukázala, že sa nad územím Slovenskej republiky môže naozaj vyskytnúť turbulencia a dokonca aj námraza, čoho dôkazom je SYNOP správa, ktorá po rozkódovaní potvrdila, že nad letiskom Žilina/Hričov sa v čase pozorovania vyskytovalo sneženie. Teplota vzduchu dosiahla 0,5 °C a teplota rosného bodu -0,2 °C.

Z bežných informácií o počasí by sme vedeli ako postupuje daný front, ale nevedeli by sme určiť jeho polohu. Radar ponúka informácie o polohe frontu a reálnom čase informácií o posune, a teda nemusíme čakať na žiadnu inú meteorologickú informáciu. Takže správna interpretácia informácií z meteorologického radaru je veľmi dôležitá najmä pre leteckú dopravu.

Referencie

- [1] BALÁŽOVIČOVÁ, L. 2015. Základy meteorológie a klimatológie pre geografov. 1. vyd. Banská Bystrica: BELIANUM, 2015. 150 s. ISBN 978-80-557-0954-3.
- [2] MDPI: Opera the Radar Project [online]. Dostupné na internete: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/6/320/htm> (citované dňa 2021-05-04)
- [3] NASA: About NASA [online]. Dostupné na internete: <https://www.nasa.gov/about/index.html> (citované dňa 2021-05-02)
- [4] KROLLOVÁ, S. 2015. Letecká meteorologická služba. 1. vyd. Bratislava: DOLIS, 2015. 182 s. ISBN 978-80-8181-015-2.
- [5] Slovenský hydrometeorologický ústav: Slovenská rádiolokačná sieť [online]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1566> (citované 2021-02-22)
- [6] Wikipédia: National_Aeronautics_and_Space_Administration [online]. Dostupné na internete: https://sk.wikipedia.org/wiki/National_Aeronautics_and_Space_Administration (citované dňa 2021-02-22)

NEW TRENDS IN AIRCRAFT DESIGN

NOVÉ TRENDY V KONŠTRUKCII LIETADIEL

Mária Jabrocká

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

Martin Bugaj

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

Abstract

Automation, robotic, unconventional arrangement hydrogen are the hallmarks of new trends in aircraft design. The implementation of hydrogen fuel in aircraft appears to be one of the biggest advances in the near future. Automation in aircraft control is based on the reduction of runway requirements. Among the main conclusions of the paper we include the finding that the aircraft does not have to have a classic conventional arrangement of vertical tail surfaces in order to achieve static/dynamic stability of the aircraft. The complexity of the elements of the aircraft stability and flight control system is directly depended on the weight of the aircraft. Upcoming trends in aircraft design should only based on existing concepts.

Keywords

aircraft design, aerodynamics elements, Mach number

1. Úvod

Nové trendy v konštrukcii lietadiel zahŕňajú nové koncepčné usporiadanie draku lietadla, implementáciu vodíkových palív, elektrické sofistikované riadenie vzletu a pristátia. Súčasne pojmom môžeme demonštrovať prepracovanejšie aerodynamické prvky usmerňovania prúdu vzduchu. Primárnym cieľom nášho skúmania je zameranie sa na koncepciu zmiešaného krídla-Blended Wing Body, aerodynamické vlastnosti koncepcie, vlastnosti stability a riadenia, záloha stability. Sekundárnym cieľom skúmania je porovnanie výhod a nevýhod konštrukčných riešení a zhodnotenie potenciálne využiteľných konštrukčných riešení z hľadiska strednodobého a dlhodobého.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Do „zlatého veku letectva“ výrazne zasiahla svetová pandémia. Väčšina spoločností pri konštrukčnom návrhu lietadla musí disponovať finančnými prostriedkami, ktoré závisia od finančnej podpory štátu, alebo individuálnych sponzorov projektu. Spoločnosti disponovali finančnými investičnými vkladmi, ktoré mali zabezpečiť premenu koncepčného návrhu na skutočnosť už pred vypuknutím svetovej pandémie(autor). Svetová pandémia zapríčinila zavádzanie nadštandardných hygienických opatrení spoločností[1]. Pri skúmaní našej oblasti práce sme sa s inými vplyvmi svetovej pandémie na nové trendy v konštrukcii lietadiel nestretli. Napriek tomu berieme na vedomie, že výraznejšie dopady mohli nastať(autor).

3. Koncepcia pre rôzne rýchlostné spektrá

V našom predmete skúmania pojmom „Nové trendy v konštrukcii lietadiel“ rozumieme akékoľvek konštrukčné usporiadanie lietadla, ktoré sa bude výrazne odlišovať od klasického konvenčného usporiadania lietadiel. Nové trendy v konštrukcii lietadiel môžeme rozdeliť na:

1. nosná plocha,
2. rotačné teleso,
3. hybridné lietadlá v kombinácii vodíkových článkov a batériového zdroja energie,
4. elektrické lietadlá(autor).

Väčšina z vyššie spomenuté trendov sa už v minulosti objavila na trhu. Koncepčné riešenie, prstencová konfigurácia nosných plôch je stále len v procese vývinu. Presné vymedzenie nových trendov v konštrukcii lietadiel pre rýchlostné spektrum nie je možné (autor).

Príkladom nadviazania riešenia konštrukčného usporiadania draku lietadla od spoločnosti Boeing je lietadlo Airbus A300-600ST a A330-700 Beluga Extra Large [2].



Obrázok 1: Vývoj konštrukčného riešenia Beluga XL. Zdroj: [2].

Blended Wing Body

Primárna idea pre kapacitu pozostávala z počtu 555 sedadiel, za dosiahnuteľnej rýchlosti $M=0,85$, pri dolete 15 000 km a plošnou záťažou 66,4 t[3]. Konceptia zmiešaného krídla výrazne redukuje hluk, spotrebu paliva a znižuje odpor[4].

Celkovú konštrukciu generácie lietadiel BWB môžeme kategorizovať na:

1. pretlakovú kabínu,
2. vnútorné krídlo,
3. vonkajšie krídlo[5].

Rozhodujúcimi prednosťami koncepcie BWB sa stali vyšší pomer vztľaku, odporu a výhodné centrovanie plošnej záťaže úmernej dĺžke vzdialenosti koncov krídel. Charakteristické uloženie motorov zabezpečuje zníženie hlučnosti samotného lietadla[3]. Konceptia zmiešaného krídla disponuje zálohou statickej stability pri klopení a zatáčaní[6]. Záloha statickej stability koncepcie BWB sa pohybuje na hodnote 18%. Konceptia disponuje dobrou dynamickou stabilitou v pozdĺžnom a priečnom smere[7] [10].

3.1. Konceptia pre subsonické rýchlostné spektrum

Rýchlostné spektrum zahŕňa klasické konvenčné a nákladné lietadlá. Čím je konštrukcia trupu lietadla vystavená väčšiemu hmotnostnému zaťaženiu, tým si vyžaduje zvýšenú stabilitu draku lietadla. Zvýšenie stability lietadla môže byť docielené kýlom, kormidlami, vhodnou decentralizáciou záťaže, posunom CG lietadla apod. Lietadlá v subsonickom rýchlostnom spektre sa nepohybujú transsonickou rýchlosťou, v dôsledku čoho zložka aerodynamického odporu bude vysoká. Všetky požiadavky na konštrukcie subsonického spektra sú stanovené vzhľadom na možné anomálie(autor).

Všetky vyššie spomenuté vlastnosti môžeme nájsť na konštrukčnom usporiadaní lietadla Beluga Extra Large(autor).

3.2. Konceptia pre transsonické rýchlostné spektrum

Transsonické rýchlostné spektrum má zvýšené požiadavky na riaditeľnosť a stabilitu lietadla. Poťah konštrukcie draku lietadla musí prenášať ohybové momenty. Dôraz sa kladie aj na konštrukčnú prepracovanosť draku lietadla, uplatnenie tvarovo a materiálovo stabilných prvkov. Zodpovedanie všetkých požiadaviek je vzhľadom na možné anomálie transsonického prúdu vzduchu(autor).

Vlastnosti lietadla pohybujúceho sa v transsonickej rýchlosti demonštruje lietadlo Blended Wing Body(autor).

3.3. Konceptia pre supersonické rýchlostné spektrum

Tvar konštrukcie lietadla je koncipovaný tak, aby konštrukčné usporiadanie draku lietadla zvyšovalo rýchlosť lietadla. Na dosiahnutie potrebnej rýchlosti lietadla vplyva celkové konštrukčné usporiadanie draku lietadla- prednej časti trupu, nosných a chvostových plôch. Prostriedky na horizontálnych stabilizátoroch majú znižovať vznik razových vír. Pohonná jednotka lietadla nesmie spôsobovať hluk v komore prídavného spaľovania. Treba brať na vedomie, že stanovenie požiadaviek

na konštrukciu sa odvíja od aerodynamického ohrevu konštrukcie(autor).

Spomenuté vlastnosti môžeme nájsť v koncepcii lietadla Lockheed Martin-X-59 a Boom Overture(autor).

3.4. Konceptia pre hypersonické rýchlostné spektrum

Väčšina lietadiel pohybujúcich sa v hypersonickom rýchlostnom spektre spadajú do kategórie vesmírnych lietadiel. Primárnou požiadavkou pre tieto lietadlá je dokonalá tvarová stabilita konštrukcie, vysoká výkonnosť pohonných jednotiek, vysoká aerodynamická čistota povrchu, materiál konštrukcie odolávajúci vysokým teplotám spôsobených aerodynamickým ohrevom. Naše tvrdenie je podložené všeobecným poznatkom, že čím je vyššia rýchlosť lietadla, tým musí byť zabezpečená vyššia manévrovateľnosť, a teda stabilita lietadla(autor).

Príkladom lietadla pohybujúceho sa v hypersonickom rýchlostnom spektre je Skylon. V minulosti experimentálnym vesmírnym lietadlom bol Rockwell, ktorý dosahoval hodnotu Machovho čísla 20[8].

4. Analýza súčasných a budúcich konštrukčných riešení

4.1. Súčasné konštrukčné riešenie

Airbus A320NEO je príkladom súčasného úzkotrupého lietadla, ktoré je možné využiť na krátke a stredne dlhé trate. Kapacita lietadla, usporiadanie trupu a inovované krídelká na konci krídla -sharklety zabezpečujú hlavné výhody konštrukčného riešenia draku lietadla. Na základe nášho skúmania vyhodnocujeme usporiadanie lietadla ako vhodné konštrukčné usporiadanie zodpovedajúce súčasným trhovým požiadavkám(autor).

4.2. Hybridné lietadlá

Vzhľadom na zvyšovanie miery ochrany životného prostredia sa implementácia vodíkových článkov javí ako vhodná alternatíva leteckého paliva. Pokiaľ budeme vychádzať zo všeobecnej charakteristiky elektrického prúdu – voľný tok elektrónov, potom môžeme povedať, že triedením molekúl na protóny a elektróny sa vo vodíkových článkoch vytvára elektrický prúd, ktorý zabezpečuje pohon rotora turbíny v lietadle Piper M350 (autor).

4.3. Elektrické VTOL lietadlá - Lilium

Elektrické spôsoby vzletu a pristátia výrazne redukovujú požiadavky na vertikálnu a vzletovú plochu, čím sa javia ako vhodnou investičnou oblasťou leteckého sektora. Tieto lietadlá disponujú krátkou prevádzkovou dobou, ktorá sa uvádza v minútach. Nevýhodou lietadiel je základná prázdna hmotnosť lietadla a veľký počet motorov(autor).

4.4. A320NEO a BWB

Pre objektívne zhodnotenie A320NEO a koncepcie Blended Wing Body vychádzame od interných vlastností konštrukcie až po vlastnosti ovplyvňujúce prevádzku letísk.

Tabuľka 1: Porovnanie špecifikácií A320NEO a BWB. Zdroj: [5], [9].

Špecifikácie	A320NEO	BWB
Kapacita	150-180	555
Maximálna rýchlosť	M=0,82	M=0,85
Cestovný dolet	6 300 km	14 816 km
Hmotnosť paliva	19 245 kg	60 000 kg
Maximálna vzletová hmotnosť	79 000 kg	187 000 kg

Tabuľka poukazuje na priamu závislosť hmotnosti lietadla na cestovnom dolete. Napriek tomu, že lietadlo má väčšiu dosiahnuteľnú rýchlosť letu, konštrukcia lietadla s kompozitným materiálmi nie je najľahšia. Usudzujeme tak na základe odčítania hmotnosti cestujúcich pri plnom obsadení lietadla, hmotnosti paliva a iných prevádzkových hmôt od maximálnej vzletovej hmotnosti lietadla(autor).

Tabuľka 2: Porovnanie výhod a nevýhod A320NEO a BWB. Zdroj: Autori.

Výhody A320NEO	Výhody BWB	Nevýhody A320	Nevýhody BWB
spotreba paliva	narrow-body	wide-body	počet okien
prevádzkové náklady	dolet	pohonné jednotky	mechanizácia krídel
konvenčné usporiadanie	nižšie CO ₂	finančná náročnosť	hmotnosť
ventilácia	nízka hlučnosť	systémy riadenia	zložitosť konštrukcie
inovované krídelká	ľahká konštrukcia	priestor v kabíne	časové hľadisko

Príliš vysoká hmotnosť lietadla nie je osožná pri pohybe lietadla po vzletovej a pristávacej dráhe letiska. Pohyb lietadla je pomalý a spôsobuje obsadenie dráhy na dlhšie časové obdobie(autor).

5. Záver

Nové trendy v konštrukcii lietadiel môžeme rozdeliť na: nosnú plochu, rotačné teleso, hybridné a elektrické lietadlá. Cieľom nášho skúmania bolo priblíženie koncepčného riešenia Blended Wing Body. Konštrukčné usporiadanie disponuje dostatočnou zálohou statickej/dynamickej stability. Rovnako sa nám podaril splniť sekundárny cieľ skúmania. Hlavnou výhodou konštrukčného usporiadania BWB je veľký dolet a MTOW. V porovnaní s A320NEO je konštrukcia priťažká, čo nie je žiaducim javom pre pohyb po vzletovej a pristávacej dráhe. Konštrukčné usporiadanie A320NEO má ľahšie konštrukčné usporiadanie draku lietadla. Súčasne treba prihliadať na úzkotrúpe riešenie trupu lietadla A320NEO. Koncepcia BWB nemá presné vymedzenie vstupu na trh. Hybridizácia lietadiel bude kontinuálne prechádzať od malých lietadiel až po veľké. Nízke nároky na vzletovú a pristávaciu dráhu sú dominujúcou výhodou elektrických lietadiel. Predpokladáme, že najdynamickejšie rozvíjajúce rýchlostné spektrum z dlhodobého hľadiska bude hypersonické. Zo strednodobého hľadiska, post-pandemickým požiadavkám trhu budú najlepšie zodpovedať konštrukčné riešenia subsonického rýchlostného spektra umožňujúce cargo prepravu.

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 COVID-19, kód ITMS 313011ATR9, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Referencie

- [1] HEMMERDINGER, J. 2020. Supersonic start-ups on course for deliveries by mid decade[online] FlightGlobal. Dostupné na internete: <https://www.flightglobal.com/flight-international/supersonic-start-ups-on-course-for-deliveries-by-mid-decade/138429.article> (citované 2021-02-22).
- [2] CLARSSON, A. 2016. Next generation XL. In FLYGREVYN-Scandinavian Aviation Magazine.[online] 2016, roč., č. 1, [cit.2020-09-25] Dostupné na internete: <<https://flygrevyn.se/Airbus-Beluga.pdf>>
- [3] IKEDA, T. a BIL, C. 2006. Aerodynamic performance of a Blended-Wing Body Configuration Aircraft. In 25TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE AERONAUTICAL SCIENCE. [online] 2006, roč.25, [cit.2020-07-02]. Dostupné na internete: <http://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2006/PAPERS/304.PDF>.
- [4] LIEBECK, R.H. 2004. Design of the Blended Wing Body Subsonic Transport. In Journal of Aircraft[online]. 2004, vol. 41, no.1 [cit.2020-12-16] Dostupné na internete: <https://pdfs.semanticscholar.org/a1f7/dfb931852a87d335cf0b061eebd1f20cd90e.pdf?_ga=2.18038201.1643184807.1612818410-422572974.1612818410>
- [5] ZHU, W.-FAN, Z.-YU, X. 2018. Structural mass prediction in conceptual design of blended-wing -body aircraft. In Chinese Society of Aeronautics and Astronautics &Beihang University. Chinese Journal of Aeronautics. [online]. 2019, roč. 32, č. 11 [2020-07-02]. Dostupné na internete: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936119303012?via%3Dihub>>
- [6] NASIR, R.E.M et al. 2016. A blended wing body airplane with close -coupled, tilting tail. In AEROTECH VI-Innovation in Aerospace Engineering and Technology [online]. 2016, vol. VI, no. 152 [cit.2020-12-14]. Dostupné na internete: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/152/1/012021/pdf>>
- [7] PAUDEL, S. et al. 2016. Aerodynamic Stability Analysis of Blended Wing Body Aircraft. In International Journal of Mechanical Engineering and Applications [online]. 2016, vol. 4, no. 4 [cit.2020-12-14]. Dostupné na internete: <https://www.researchgate.net/publication/304659471_Aerodynamic_and_Stability_Analysis_of_Blended_Wing_Body_Aircraft> ISSN 2330-0248.
- [8] PETRUSCU, F.I 2012. New Aircraft II: Sabre on course to chill SKYLON into orbit By James Holloway. USA:2012. 179s. ISBN 978-1-4783-5508-3.
- [9] Airbus S.A.S. 2021. A320neo[online] 2021. Dostupné na internete: <https://www.airbus.com/aircraft/passenger-aircraft/a320-family/a320neo.html>(citované 2021-02-06)
- [10] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

AERODYNAMIC AIRFOILS AND THEIR APPLICATIONS

AERODYNAMICKÉ PROFILY A ICH VYUŽITIE

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

Martin Bugaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Martin.bugaj@fpedas.uniza.sk

Abstract

This work focuses on aerodynamic airfoils and their application. The significant aim of this work is to introduce and analyse different types of airfoils and their importance. The first part of the paper examines aerodynamic characteristics, airfoil geometry and brings the historical evolution of certain types of airfoils. The second part of the paper considers different databases, and closely examines the NACA database and its numerical labelling by looking at digit series label, which follows the acronym NACA, indicating the airfoil's shape. The main body of the paper illustrates the real-life application of chosen airfoils by examining horizontal and vertical stabilisers and wind turbines. The last part of the paper presents the analysis of the application of chosen wing root and wingtip airfoils.

Keywords

Airfoil, wind turbine, NACA.

1. Úvod

Záujem o letectvo sa začal pozorovaním pohybu vtákov. To ľudí inšpirovalo k výrobe krídel z peria alebo ľahkého dreva, ktoré si pripevnili na ruky, aby vyskúšali ich schopnosť lietať. Po mnohých nevydarených pokusoch si ľudia uvedomili, že ľudské telo nie je stavané aby poháňalo umelé krídla a verili že let človeka si bude vyžadovať určitú formu umelého pohonu. Výraznejšie pokroky nastali po prvých výskumoch aerodynamických síl pôsobiacich počas letu. Na základe týchto získaných informácií bol ďalší vývoj letectva a navrhovanie profilov jednoduchší.

Hlavným cieľom práce je poskytnúť charakteristiku jednotlivých typov profilov s dôrazom na analýzu ich využitia. Zhromaždiť informácie o profiloch a demonštrovať ich rôznorodý účel využitia. Zameriame sa na využitie profilov pre stabilizátory lietadla a veterné turbíny. Uvedieme najpoužívanejšie profily pre krídlo lietadla. Čiastkovým cieľom práce je prezentovať označovanie profilov s ústredným zameraním na databázu NACA, ktorá je z hľadiska informácií najdostupnejšia.

Práca je rozdelená do troch kapitol. Obsahom prvej kapitoly je venovaný stručnému historickému vývoju profilov so zameraním sa na určenie základnej definície pojmu. V kapitole nájdeme aj opis jednotlivých charakteristík a vlastností profilov.

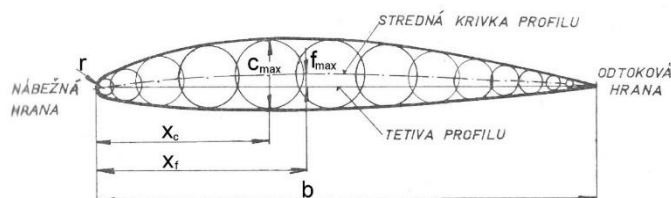
Druhá kapitola je venovaná označovaniu profilov. Oboznámime sa rôznymi druhmi databáz, z ktorých je možné vybrať vhodný profil pre dané účely. Dôkladnejšie sa však oboznámime s databázou NACA, so zameraním sa na štandardizované značenie, ktoré táto databáza zaviedla. Vysvetlíme čo znamenajú jednotlivé označenia a ako ich delíme na jednotlivé rady. Náplňou tretej kapitoly je ukázať rozličné možnosti využitia

profilov. Konkrétnejšie sa budeme venovať profilom veterných turbín. Pre listy veternej turbíny je potrebný špeciálny tvar profilu, ktorý je možné ovládať pri rôznych poveternostných podmienkach. Na záver práce ukážeme najpoužívanejšie profily NACA pre koreňovú a špičkovú časť krídla

2. Vlastnosti aerodynamických profilov

2.1. Geometrické charakteristiky profilu

Každý profil je popísaný a určený svojím číselným označením, podľa ktorého vieme určiť jeho základné geometrické charakteristiky. Na nasledujúcom obrázku sú znázornené jednotlivé charakteristiky: [1]



Obrázok 1: Geometrické charakteristiky profilu. Zdroj: [2].

- **Stredná krivka profilu** – spojnica stredov vpísaných do kružníc.
- **Tetiva profilu** – spojnica nábežnej a odtokovej hrany.
- **Hĺbka profilu “b”** – dĺžka tetivy profilu.

- **Maximálna hrúbka profilu “ C_{max} ”** – priemer najväčšej vpísanej kružnice.
- **Poloha maximálnej hrúbky “ X_c ”** – vzdialenosť maximálnej hrúbky profilu od nábežnej hrany.
- **Maximálne prehnutie strednej krivky “ f_{max} ”** – výška najvyššieho bodu strednej krivky nad tetivou profilu.
- **Poloha maximálneho prehnutia strednej krivky “ X_f ”** – vzdialenosť maximálneho prehnutia od nábežnej hrany.
- **Polomer nábežnej hrany “ r ”** – polomer oskulačnej kružnice v nábežnej hrane [3].

2.2. Druhy profilov

Profil sa delia podľa rozličných kritérií, ako napríklad podľa hrúbky a polohy maximálnej hrúbky profilu, prehnutia strednej krivky alebo tvaru.

Symetrický profil – profil krídla, ktorý má na oboch stranách strednej krivky rovnaký tvar. Stredná krivka a tetiva sú rovnaké a pri nulovom uhle nábehu neprodukujú vztlak. Tento typ profilu sa vo veľkej miere používa pre akrobatické lietadlá a v rotoroch vrtuľníkov [4].

Nesymetrický profil – profil krídla, ktorý má rôzne tvary na hornej a spodnej časti, s väčším zakrivením profilu nad líniou tetivy. Stredná krivka profilu a tetiva sú odlišné. Nesymetrický profil môže produkovať vztlak pri nulovom uhle nábehu [4].

Laminárny profil – profil krídla, ktorého maximálna hrúbka je posunutá smerom dozadu, dôsledku čoho pozdĺž profilu klesá statický tlak a naopak rýchlosť stúpa. Na povrchu vzniká laminárny úsek medznej vrstvy, ktorý odďaľuje prechod do turbulencie, čo má za následok zníženie profilového odporu [5].

Autostabilný profil – profil krídla so zdvihnutým koncom, kde jeho stredná čiara ma dvojité zakrivenie. Autostabilný profil má stále pôsobisko vztlaku alebo pri zväčšení uhla nábehu sa ťažisko posúva smerom dozadu, kedy vzniká klopivý moment, ktorý vracia krídlo do pôvodnej polohy [5].

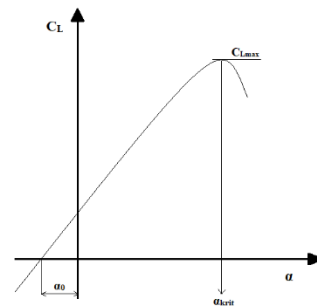
Superkritický profil – profil, ktorý bol navrhnutý tak aby odďaľoval vznik vlnového odporu pri transsonických rýchlostiach. Typickými vlastnosťami superkritických profilov v porovnaní s klasickými tvarmi profilov, sú sploštenie horného povrchu, väčšia relatívna hrúbka, prehnutie strednej krivky do tvaru S a väčší polomer nábežnej hrany [6].

2.3. Aerodynamické vlastnosti profilu

Aerodynamické vlastnosti profilu priamo závisia na jeho geometrických vlastnostiach. Tieto vlastnosti sú vyjadrované pomocou súčiniteľov, ktoré sa získavajú meraním v aerodynamických tuneloch a závisia na uhle nábehu a tvaru profilu. Súčiniteľ vztlaku a súčiniteľ odporu zakresľujeme do grafu, ktorý nazývame aerodynamická polára profilu.

Vztlaková čiara je závislosť súčiniteľa vztlaku na uhle nábehu. Na vztlakovej čiare charakterizujeme nasledujúce typické body:

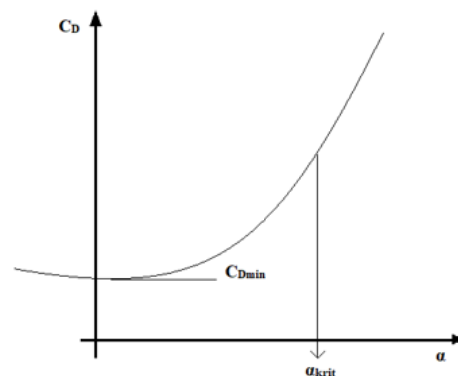
- pri zápornom uhle nábehu definujeme nulový súčiniteľ vztlaku, tento uhol označujeme $\alpha_0 (< 0)$
- vztlaková čiara ma nelineárny charakter
- sklon vztlakovej čiary vypočítame ako deriváciu súčiniteľa vztlaku podľa uhla nábehu α , $\frac{dC_L}{d\alpha} \cong 2\pi [\text{rad}^{-1}]$
- každý profil dosahuje svoj maximálny bod vztlakovej sily (súčiniteľ vztlaku), ktorý označujeme C_{Lmax} , po dosiahnutí tohto bodu súčiniteľ vztlaku klesá,
- uhol nábehu, pri ktorom súčiniteľ vztlaku dosiahne maximálnu hodnotu sa nazýva kritický uhol nábehu



Obrázok 2: Vztlaková čiara. Zdroj: Autori.

α_{krit} [6].

Odporová čiara znázorňuje závislosť súčiniteľa aerodynamického odporu od uhla nábehu a zvyčajne má tvar paraboly. Na začiatku prebieha nevýrazná transformácia tohto súčiniteľa od uhla nábehu, až neskôr v oblasti α_{krit} začína výrazne narastať, to sa vysvetľuje zväčšením oblasti odtrhávania hraničnej vrstvy. Pri určitých hodnotách C_D je možné dosiahnuť minimálnu hodnotu C_{Dmin} , pri symetrickom profile dosiahneme minimálny odpor pri nulovom uhle nábehu [6].



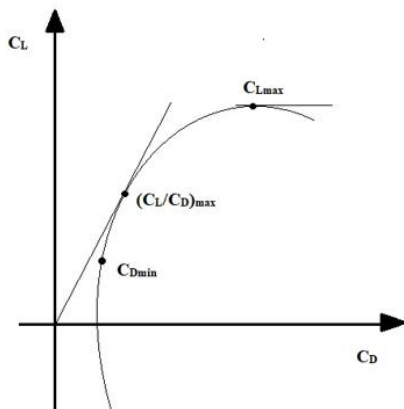
Obrázok 3: Odporová čiara. Zdroj: Autori.

Polára profilu je krivka vyjadrujúca vzájomnú závislosť súčiniteľa vztlaku a súčiniteľa odporu. Znázorňujeme ju graficky a to tak, že určíme súčiniteľ vztlaku a súčiniteľ odporu pre

totožné hodnoty uhlov nábehu a tie vynesieme do diagramu. Závisí na tvare profilu, Machovom a Reynoldsovom čísle [3], [6].

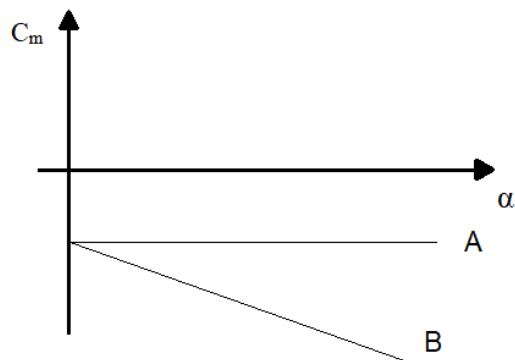
Na poláre vyznačujeme tieto charakteristické body:

- bod nulového vztaku,
- bod minimálneho súčiniteľa odporu C_{Dmin} , zodpovedá (predstavuje) režimu maximálnej rýchlosti pri vodorovnom ustálenom lete,
- bod maximálnej hodnoty súčiniteľa vztaku C_{Lmax} , zvyčajne zodpovedá režimu minimálnej rýchlosti pri vodorovnom priamočiaram lete,
- bod maximálnej aerodynamickej jemnosti profilu $K_{max} = (C_L/C_D)_{max}$, graficky to dostaneme tak, že vedieme dotyčnicu k poláre zo začiatku súradnicovej sústavy [7].



Obrázok 4: Polára profilu. Zdroj: Autori.

Momentová čiara je krivka závislosti súčiniteľa momentu profilu na uhle nábehu. Pri zväčšovaní uhla nábehu rovnomerne rastie záporný klopivý moment do záporných hodnôt, ktorý sa vzťahuje ku špičke profilu pri nulovom vztaku. Nulový klopivý moment k špičke profilu majú tieto profily v okolí záporného vztaku. Pre symetrické profily platí, že vplyvom symetrického obtekania pri nulovom uhle nábehu majú nulový klopivý moment vztiahnutý k špičke profilu. S rastúcim uhлом nábehu rovnomerne rastie aj veľkosť klopivého momentu. Na obrázku krivka A predstavuje moment vzťahujúci sa k nábežnej hrane profilu, a krivka B znázorňuje moment vzťahujúci sa k aerodynamickému strediu profilu, zhruba 25% hĺbky profilu [8].



Obrázok 5: Momentová čiara. Zdroj: [8].

3. Označovanie profilov

Pre ľahšiu orientáciu vznikali rôzne databázy profilov, na základe ktorých sme vedeli vybrať profil najviac vyhovujúci našim potrebám. Jedna z prvých databáz profilov bola vytvorená v Göttingene v Nemecku v ranných rokoch rozvoja letectva. Profily Göttingen boli založené na matematickom odvodení ruského vedca Nikolai E. Jokovského. Ďalšou skupinou sú profily Wortmann, ktoré boli navrhnuté doktorom F. X. Wortmannom začiatkom 60. rokov. Primárne boli určené pre vetrone a pre nízke Reynoldové čísla. Profily sú charakterizované laminárnym prúdením, relatívne malým polomerom nábežnej hrany, prehnutím profilu v 40% - 60% hĺbky profilu a tenkou odtokovou hranou. Za posledných 45 rokov bola vyvinutá Epplerová metóda určovania tvaru profilov. Táto metóda umožňuje rozdelenie profilu krídla na požadovaný počet segmentov, pozdĺž ktorých je predpísané rozloženie rýchlosti spolu s navrhovaným uhлом nábehu pri ktorom sa má rýchlosť dosiahnuť. Ďalej sa budeme venovať predovšetkým označovaniu profilov NACA, ktoré sú z hľadiska dostupnosti voľných informácií najviac prístupné [9], [10], [11].

NACA

Profily NACA sú profily krídel lietadiel vyvinuté Národným poradným výborom pre letectvo (National Advisory Committee for Aeronautics – NACA). Tvary profilov sú opísané pomocou série číslíc nasledujúcich za slovom NACA. Parametre v číselnom kóde je možné zadať do rovníc na presné vygenerovanie prierezu profilu krídla a jeho vlastností [12].

NACA štvormiestnej série – systém číslovania je založený na geometrických vlastnostiach profilov. Ako príklad použijeme profil s označením NACA 2412, kde

2 – číslica, ktorá vyjadruje maximálne prehnutie strednej krivky v percentách tetivy profilu,

4 – číslica popisujúca polohu maximálneho prehnutia strednej krivky v desatinách tetivy profilu,

12 – číslice, ktoré popisujú maximálnu hrúbku profilu v percentách tetivy profilu [13].

NACA päťmiestnej série – systém číslovania je založený na kombinácii aerodynamických a geometrických vlastnostiach profilov. Číselné značenie NACA 23012 predstavuje:

- 2 – určuje 2/3 navrhovaného súčiniteľa vztaku,
- 30 – uvádza dvojnásobok polohy maximálneho prehnutia v percentách hĺbky,
- 12 – maximálnu hrúbku v percentách hĺbky [13].

NACA série 1 – profily boli navrhnuté koncom 30. rokov po štvormiestnej a päťmiestnej sérii [20]. Geometria bola skôr založená na teórii tenkých profilov, než na určovaní polohy maximálneho prehnutia, či určovania maximálnej hrúbky. Prvýkrát sa začal používať inverzný návrh profilu krídla. Tieto profily sa primárne využívajú pre vrtule, pretože zabraňujú tvorbe veľkých tlakových špičiek, ktoré sú škodlivé pre profily v blízkosti nadzvukových rýchlostí. Väčšinou sa hlavne využíva 16 verzií profilov série 1, preto sa niekedy zvyknú označovať ako profily série 16. Typický profil série 1 je označený päťmiestnym číslom, ako napríklad NACA 16-212, kde:

- 1 – číslica, ktorá predstavuje typ série,
- 6 – číslica určujúca umiestnenie minimálneho tlaku v desatinách tetivy,
- 2 – číslica označujúca navrhovaný súčiniteľ vztlaku
- 12 – posledné dve číslice určujú maximálnu hrúbku v desatinách hĺbky profilu [14].

NACA šesťmiestnej série – sú zvyčajne označené šesťmiestnym číslom spolu s vyjadrením o druhu, použitej strednej krivky a prevažne udávajú aerodynamické charakteristiky. Napríklad označenie NACA 65,3-218, $a=0,5$ znamená:

- 6 – číslica, ktorá vyjadruje označenie rady,
- 5 – číslica predstavujúca polohu minimálneho tlaku v desatinách hĺbky,
- 3 – číslica nasledujúca za pomlčkou, ktorá udáva rozsah súčiniteľa vztlaku nad a pod navrhovaným súčiniteľom vztlaku s priaznivým tlakovým gradientom na oboch stranách,
- 2 – číslica udávajúca navrhovaný súčiniteľ vztlaku,
- 18 – číslice, ktoré popisujú maximálnu hrúbku profilu v percentách hĺbky,
- $a=0,5$ – ukazuje typ použitej strednej krivky. Ak nie je uvedené označenie strednej krivky, znamená to že bola použitá stredná krivka s rovnomerným zaťažením [13].

4. Analýza využitia profilov

Využitie aerodynamických profilov je v súčasnosti veľmi rôznorodé. Môžeme sa s nimi stretnúť nie len v letectve, ale aj pri výrobe pohonných jednotiek, v hydrodynamike či veternej energetike. Ukážeme si profily využívané pre veterné turbíny a zanalyzujeme najvyužívanejšie profily pre koreňovú a špičkovú časť krídla.

4.1. Veterná turbína

Veterná turbína je zariadenie, ktoré premieňa kinetickú energiu na mechanickú, ktorá sa cez generátor mení na elektrickú energiu. Existujú dva typy veterných turbín, s vodorovnou a zvislou osou rotácie. Aerodynamický tvar listov veternej turbíny je jeden z hlavných problémov veterného priemyslu, ktorý má významný vplyv na získanie maximálneho výkonu z vetra. Štúdie ukázali, že pre listy veterných turbín je potrebný špeciálny tvar profilov, ktorý je možné ovládať pri rôznych poveternostných podmienkach. Priebehu rokov bolo vykonaných niekoľko výskumov a štúdií s cieľom navrhnuť a zlepšiť výkonnosť profilu pre listy veternej turbíny. Nižšie sa budeme venovať niektorým vybraným profilom a ich kľúčovým charakteristikám [15].

4.1.1. NREL profily

V roku 1984 spoločnosť NREL začala s vývojom aerodynamických profilov pre veterné turbíny s horizontálnou osou. Odvtedy spoločnosť prišla s deviatimi skupinami profilov, ktoré boli navrhnuté pre rôzne veľkosti rotorov. Tieto skupiny profilov pozostávajú z dvadsiatich piatich aerodynamických

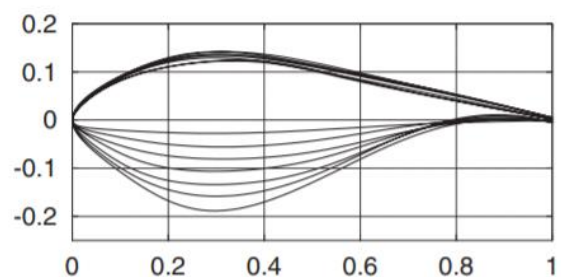
profilov so začínajúcim označením S801 až po končiace označenie S828. Označenia predstavujú číselné poradie v akom boli profily navrhnuté v rokoch 1984 až 1995. Po tomto období boli niektoré profily vylepšené na základe testovaní v aerodynamickom tuneli. Vhodnú dĺžku lopatiek a veľkosť generátora pre príslušnú skupinu profilov, nájdeme v tabuľke 1 [16].

Spomedzi týchto skupín profilov je sedem označovaných ako „hrubé“, čo značí že profil vonkajšej časti lopatky je hrubý 16 - 21%. Väčšia hrúbka poskytuje vyššiu pozdĺžnu tuhosť nutnú pre zabezpečenie dostatočnej vzdialenosti medzi lopatkami a stožiarom, nižšiu hmotnosť čo je dôležité pre veľké veterné turbíny, a umožňuje uloženie aerodynamických zariadení na reguláciu maximálnych otáčok pri turbínach regulovaných odhrnutím prúdu vzduchu. Skupiny profilov označené ako „tenké“ sú vhodnejšie pre malé až stredné turbíny fungujúce v smere vetra. V mnohých prípadoch je pre koreňovú časť profilu lopatky používaný hrubý profil, aby vyhovoval štruktúrnym a dynamickým požiadavkam. Hrúbka takéhoto profilu spadá do rozsahu 18% až 24%. Hrúbky väčšie ako 26% majú nežiaduce výkonné charakteristiky [16].

4.1.2. Risø profily

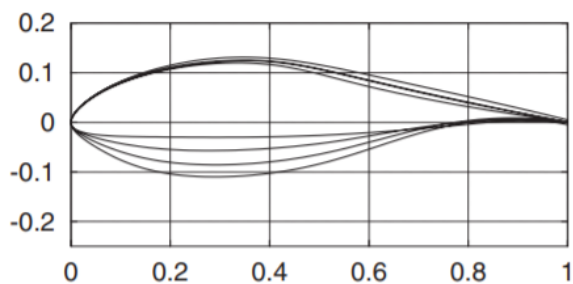
Vývoj profilov Risø sa začal v polovici 90. rokov a doteraz boli vyvinuté tri skupiny aerodynamických profilov; Risø-A1, Risø-P, Risø-B1. Pre výpočet parametrov profilu je využívaný program XFOIL vyvinutý profesorom Markom Drelom.

Skupina profilov Risø-A1 bola dokončená v roku 1998 a predstavuje šesť profilov s pomerom hrúbky k dĺžke tetivy od 15% až 30%. Profily boli implementované pre turbíny regulované odhrnutím prúdu vzduchu. Menovitý výkon vetrenej turbíny, ktorá využívala tento aerodynamický profil bol okolo 600kW [17].



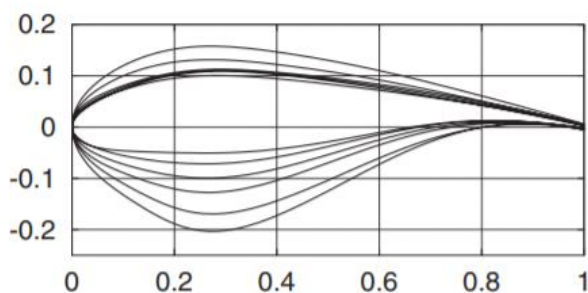
Obrázok 5: Profily Risø-A1. Zdroj: [17].

V roku 2001 bola vyvinutá skupina profilov Risø-P, ktorá obsahuje štyri profily s pomerom hrúbky k dĺžke tetivy 15, 18, 21 a 24%, určené pre lopatky rotorov s nastaviteľnou geometriou na veterných turbínach s pevnou alebo variabilnou rýchlosťou otáčania, ktorých inštalovaný výkon prekračuje 1MW [18].



Obrázok 6: Profily Risø-P. Zdroj: [17].

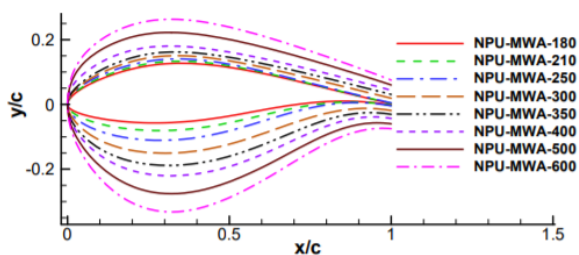
Skupina profilov Risø-B1 bola navrhnutá ako sedem samostatných profilov s rozšíreným rozsahom pomeru hrúbky k dĺžke tetivy od 15% do 53%, aby pokryl celé rozpätie lopatky veternej turbíny. Tieto profily boli navrhnuté pre veterné turbíny s výkonom rádovo v jednotkách MW, s variabilnou rýchlosťou a ovládaním uhla nastavenia lopatiek pre zabezpečenie maximálneho a prevádzkového vztlaku, čo umožňuje použitie úzkych flexibilných lopatiek pri zachovaní vysokej aerodynamickej účinnosti [17].



Obrázok 7: Profily Risø-B1. Zdroj: [17].

4.1.3. Profily NPU-MWA

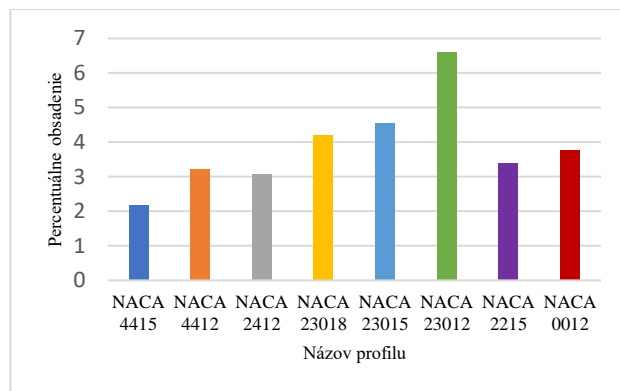
V roku 2016 bola navrhnutá nová skupina aerodynamických profilov NPU-MWA pre veterné turbíny s výkonom viac megawattov. Tieto profily sú navrhnuté aby dosiahli čo najväčšiu aerodynamickú jemnosť pri navrhovanom koeficientu vztlaku. Vysoká aerodynamická jemnosť pomáha zlepšiť aerodynamickú výkonnosť a zachytávanie veternej energie. Výhodou vysokého navrhovaného koeficienta vztlaku je zmenšenie dĺžky tetivy, čo vedie k zníženiu hmotnosti. Profily s plochou zadnou stranou, navrhnuté pre vnútorné časti rotorových listov, taktiež pomáhajú pri zvyšovaní konštrukčnej pevnosti redukciami hmotnosti [19].



Obrázok 8: Geometrické tvary profilov NPU-MWA. Zdroj: [19].

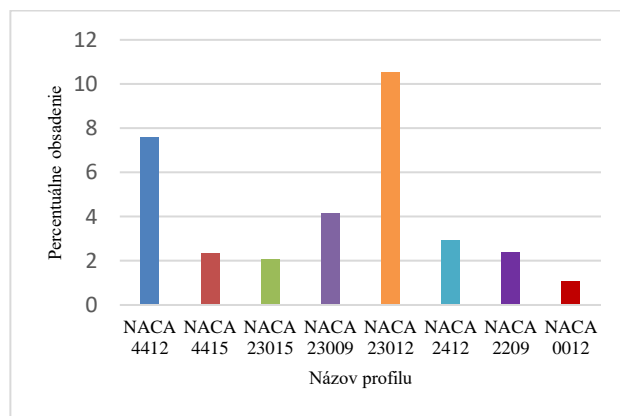
4.2. Využitie vybraných profilov NACA

Využitie profilov NACA je veľmi rôznorodé, či už ide profily krídla, veternej turbíny alebo pre pohonnú jednotku. V tejto časti sa konkrétne budeme venovať profilom pre koreňovú a špičkovú časť krídla. Z dostupnej databázy profilov pre daný typ lietadla boli vybrané práve NACA profily a následne vyhodnotené ich najpočetnejšie obsadenie. V nasledujúcich grafoch sú demonštrované najčastejšie využívané profily.



Graf 1: Najpoužívanéjšie profily pre koreňovú časť krídla. Zdroj: Autori.

Z grafu 1 je vidieť, že najviac využívaným profilom pre koreňovú časť krídla z vybranej vzorky je NACA 23012. Pre jeho vlastnosti ako je vysoký vztlak, nízky odpor a mierny klopivý moment je vhodnou voľbou. Ďalšími často využívanými sú profily päťmiestnej série NACA 23015 a NACA 23018. Medzi tretí najpoužívanější profil radíme NACA 0012.



Graf 2: Najpoužívanéjšie profily pre špičkovú časť krídla. Zdroj: Autori.

Pre špičkovú časť krídla platí rovnako ako pre koreňovú, že najpoužívanším profilom je NACA 23012. Druhým často využívaným je profil štvormiestnej série NACA 4412, ktorého výhodou je zvýšenie vztlaku a zníženie odporu v blízkosti zeme. Ďalšími využívanými profilmi sú profily päťmiestnej série NACA 23009. Nasledujúce profily sú prevažne štvormiestnej série.

5. Záver

Cieľom tejto práce bolo priblížiť jednotlivé charakteristiky aerodynamických profilov a analyzovať ich využitie. Podrobným

spracovaním informácií sme zosumarizovali a vytvorili teoretický základ pre ďalšie štúdium profilov s využitím dostupnej databázy. Ďalším z prínosov je súhrn komplexného súboru dát o profiloch, ktorého súčasťou je analýza ich využitia, ktorá môže byť aplikovaná pri ďalšom hodnotení praktického využitia daných profilov.

V súčasnosti existuje široká škála využitia aerodynamických profilov. Nie je rozšírená iba v letectve, ale čoraz viac sa s ňou stretávame vo veternej energetike, hydrodynamike či automobilovom priemysle. Výberom vhodného profilu prispievame k celkovému zlepšeniu výkonu. Na základe geometrických a aerodynamických charakteristík vieme určiť tvar profilu a jeho vlastnosti vo vzduchu. Tieto informácie môžeme nájsť v príslušných databázach. Z hľadiska dostupných informácií je pre nás najvýhodnejšia databáza NACA.

Ako sme už spomínali využitie profilov je veľmi rôznorodé. V tejto práci sme sa hlavne zamerali na profily pre veterné turbíny a najpoužívanejšie profily pre kridlo lietadla. Výber aerodynamického tvaru profilu pre veternú turbínu má značný význam pre získanie maximálneho výkonu z vetra. Výber taktiež závisí od druhu, výkonu a veľkosti turbíny. Pri analýze využitia profilov pre kridlo, sme sa sústredili na profily NACA. Z dostupnej databázy sme zistili, že profil NACA 23012 je najviac využívaný pre jeho dobré vlastnosti vzlaku a nízkeho odporu. Ďalším často využívaným je profil štvormiestnej série NACA 4412, ktorého výhodou je zvyšovanie vzlaku a zníženie odporu v blízkosti zeme.

Pre získanie potrebných informácií sme využívali odbornú literatúru, vedecké články prevažne v anglickom jazyku a vedomosti získané počas štúdia. Po dôkladnom preštudovaní vybranej literatúry boli vybrané vhodné informácie a spracované do tejto práce. Pre analýzu bola použitá dostupná online databáza využívaných profilov, z ktorej boli vyselektované profily NACA a následne bolo vyhodnotených ich najpočetnejšie obsadenie. Výsledky boli zaznamenané vo forme grafov.

Referencie

- [1] BENEŠ, L. a kol. 1995. Učebnica pilota. Svět křidel, vyd. Leteckej literatury, 1995. 292 strán. ISBN 80-85280-30-2
- [2] Zadanie seminarky. [online]. Dostupné na internete: <https://www.zadania-seminarky.sk/semestralna-praca/kridlo-semestralna-praca/38858>
- [3] JÍRA, R. a kol. 1963. Aerodynamika a mechanika letu pro plachtaře. Praha: NAŠE VOJSKO, 1963. 269 strán
- [4] KOLEKTÍV AUTOROV. 2019. Učebnica pilota 2019. Svět křidel. 2019. 405 s. ISBN 978-80-7573-049-7
- [5] GONDA, J. 1953. Letecký terminologický slovník, Bratislava: vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1953. [online]. [cit.2021-05-22]. Dostupné na internete: https://terminologickyportal.sk/pdf/glosare/letecky_terminologicky_slovník.pdf
- [6] BUGAJ, M.2015. Areomechanika I. Základy aerodynamiky, Bratislava: DOLIS s.r.o., 2015. 208 strán. ISBN 978-80-970419-3-9
- [7] SLYŠKO,A. 1991. Aeromechanika, Bratislava: ALFA, 1991. 526 strán. ISBN 80-05-00711-6
- [8] KOLEKTÍV AUTOROV. 2019. Učebnica pilota 2019. Svět křidel. 2019. 405 s. ISBN 978-80-7573-049-7
- [9] RIBLETT, H. 1988. What Are Wortman Airfoils??. [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete:http://acversailles.free.fr/documentation/08~Documentation_Generale_M_Suire/Aerodynamique/Profil_s/Wortman/What%20are%20wortman%20airfoils.pdf
- [10] HANSEN,J. R. a kol. 2007. On the Wing. In The Wind and Beyond. [online]. Vol 2. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <https://history.nasa.gov/sp4409-vol2-3.pdf>
- [11] Historical Background. [online]. Dostupné na internete: <http://www.profoil.org/profoil/020-background.html> (cit. 2021-03-27).
- [12] NACA airfoil. [online]. Dostupné na internete: https://nasa.fandom.com/wiki/NACA_airfoil (cit. 2021-05-21)
- [13] ABBOTT, I. H. – DOENHOFF, A. E. – STIVERS, Jr. L. S. 1945. Summary of Airfoil Data: Report No. 824. [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné na internete: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc65534/m1/9/>
- [14] GUDMUNDSSON, Snorri. General aviation aircraft design: applied methods and procedures. Oxford: Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-397308-5
- [15] Danish wind industry association. [online]. Dostupné na internete: <http://xn--drmrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wtrb/powerreg.htm> (cit. 2021-05-22)
- [16] TANGLER, J. L. – SOMERS, D. M. 1995. NREL Airfoil Families for HAWTs. [online]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 1995. [cit. 2021-04-08]. Dostupné na internete: <https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/7109.pdf>
- [17] MAMADAMINOV, U. M. 2013. Review of Airfoil Structures for Wind Turbine Blades. [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/271829785_Review_of_Airfoil_Structure_for_Wind_Turbine_Blades
- [18] FUGLSANG, P. – BAK, CH. 2004. Development of the Risø Wind Turbine Airfoils. [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/we.117>
- [19] XU, J. – HAN, Z. – YAN, X. – SONG, W. 2019. Design Optimization of a Multi-Megawatt Wind Turbine Blade with the NPU-MWA Airfoil Family. [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/335482225_Design_Optimization_of_a_Multi-Megawatt_Wind_Turbine_Blade_with_the_NPU-MWA_Airfoil_Family

[20] Novák, A., Novák Sedláčková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0

Daniela Kamenická – narodená dňa 11.05.1996 v Levoči, absolvovala v roku 2014 Gymnázium v Levoči. V roku 2018 nastúpila na Žilinskú univerzitu v Žiline v odbore letecká doprava.

DISASSEMBLY, INSPECTION, REPAIR AND ASSEMBLY TECHNIQUES

TECHNIKY DEMONTÁŽE, KONTROLY, OPRAVY A MONTÁŽE LIETADLOVÝCH KOMPONENTOV

Matúš Littva

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matuslittva2261999@gmail.com

Michal Janovec

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of this article is to present the current techniques of disassembly, control, repair, and assembly of aircraft components. It reproduces proven but also modern procedures used in aviation practice. The article is divided into several consecutive parts. The first part is a preface which is a kind of introduction to the issues. The following section is an analysis of available sources of information about maintenance of aircraft components. The third part is the content core, in which we describe the basic techniques of aircraft maintenance. Mentioned part contains information about the inspection techniques, corrosion treatment procedures, repairs of structural components and typical non-destructive tests. In the last part, we derive the conclusions and emphasize the importance of the described maintenance procedures in the future. We have included several illustrations in the article for better understanding.

Keywords

Visual inspection techniques, Corrosion treatment, Repairs of structural elements, Airplane skin repairs, Non-destructive testing

1. Úvod

Keďže sú lietadlá dopravnými prostriedkami, sú vystavené početným vplyvom zhoršujúcich ich stav. Tieto vplyvy, zapríčinené buď prírodnými javmi alebo človekom, podnecujú vo výrobcach potrebu stanovenia programov kontroly a údržby a v prevádzkovateľoch potrebu ich plánovania a vykonávania. Štandardná údržba pozostáva z čiastkových úkonov ako je demontáž komponentov, ich preskúmanie, prípadná oprava a následná opätovná montáž na konštrukciu. Všetky tieto činnosti slúžia na znovu-obnovenie prevádzkyschopnosti lietadla a musia byť vždy vykonávané kvalifikovane a v súlade s usmerneniami referenčných materiálov.

2. Dostupné zdroje o údržbe lietadlových komponentov

Skôr ako sa ku kontrole pristúpi je nevyhnutné zhromaždiť a preštudovať všetky náležité dokumenty a referenčné materiály. Takýmito dokumentami, od ktorých závisí oprava sú napríklad lietadlové denníky (aircraft logs). Do nich sa počas prevádzky lietadla zapisujú všetky významné udalosti ako sú poruchové stavy, ich opravy a inšpekcie. Ak sú tieto denníky vytvárané svedomito, odrážajú stav jednotlivých komponentov ako aj celého lietadla.

2.1. Kontrolné zoznamy (checklists)

Pri výkone generálnej údržby sa počas kontroly, ktorá je veľmi rozsiahla, postupuje podľa kontrolných zoznamov, aby sa na žiadne položky alebo úkony nezabudlo. V týchto zoznamoch býva lietadlo rozčlenené na niekoľko celkov v ktorých sú ďalej

vypísané konkrétne komponenty, ktorým treba venovať a musia podliehať kontrole. Spomenutými celkami bývajú:

- Trup a drak lietadla
- Paluba a kokpit
- Motor a jeho gondola
- Podvozok
- Chvost, krídlo a centroplán
- Vrtuľa
- Komunikácia a navigácia

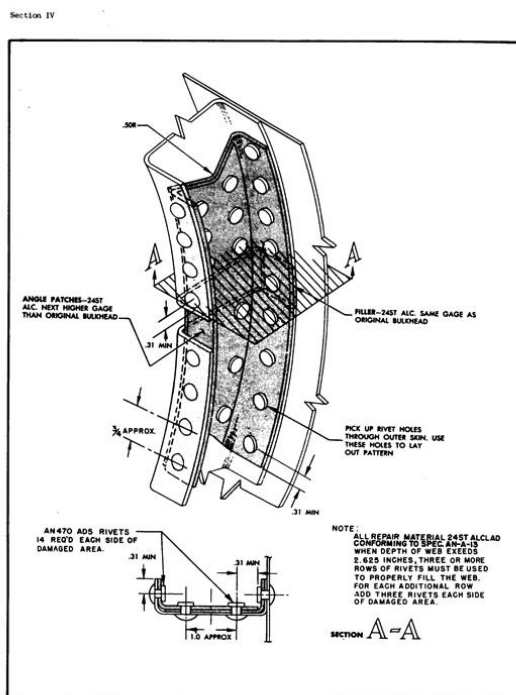
2.2. Publikácie

Letecké publikácie sú zdroje vodiacich informácií leteckých inžinierov pri prevádzke a údržbe lietadla a súvisiaceho vybavenia. Správne využitie týchto publikácií veľmi pomôže v efektívnej prevádzke a údržbe všetkých lietadiel. Vydávanými publikáciami sú servisné bulletiny, manuály, katalógy, smernice letovej spôsobilosti, poradné obežníky a technické údaje lietadla, motora a vrtule [1] [5] [8].

2.2.1. Manuály

Existuje viacero druhov manuálov. Môžu to byť manuály štandardnej údržby, manuály generálnej údržby, ktoré sú oveľa komplexnejšie a detailnejšie alebo manuály konštrukčných opráv. Posledné zo spomenutých obsahujú informácie a špeciálne pokyny pre opravy primárnych a sekundárnych

konštrukcií ako sú kostra, rebrá, trupové priečky, pozdĺžne výstuhy, nosný potáh a mnoho ďalších.



Obrázok 1: Ukážka z manuálu opráv konštrukčných prvkov. Zdroj: <http://www.n5210k.com/about-navions/manuals--about-navions/structural-repair-manual-.html>

3. Základné techniky údržby lietadlových komponentov

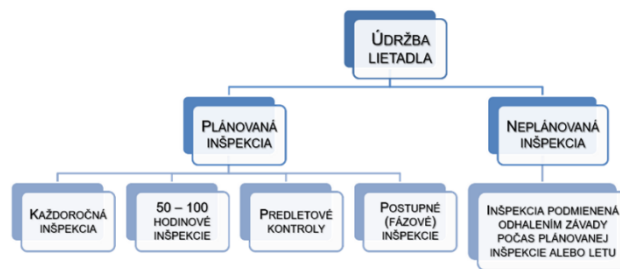
3.1. Techniky kontroly

Ako lietadlo starne, musí sa pre zachovanie letuschopnosti prehliadať a náležite udržiavať. Sú to dva najprirodzenejšie nástroje prevencie porúch, ktorých opravy sú nákladné a časovo neefektívne. Okrem spomenutých negatívnych stránok, množstvo poruchových stavov ovplyvňuje aj celkovú bezpečnosť lietadiel.

3.1.1. Programy kontroly a údržby

Za cieľom vylúčenia vzniku porúch prevádzkovateľa dodržiavajú výrobcami stanovené pokyny a odporúčania a legislatívou nariadené udržiavanie letovej spôsobilosti. Tento zámer môže byť uskutočnený pomocou viacerých typov programov údržby. Najjednoduchším typom kontroly je predletová kontrola, ktorú vykonáva pilot osobne a odhaľuje potenciálne prítomné poruchové stavy. Plánovanými kontrolami sú každoročné inšpekcie, inšpekcie založené na uplynutí stanoveného počtu letových hodín alebo fázové inšpekcie, pri ktorých si prevádzkovateľ naplánuje čiastkové kontroly kvôli

neefektívnosti kompletnej jednorazovej inšpekcie.



Obrázok 2: Rozdelenie programov údržby. Zdroj: Autori.

3.1.2. Vizúálne techniky kontroly

Vizuálna kontrola je najjednoduchším spôsobom preskúmania stavu lietadla alebo jeho častí. Vykonáva sa za cieľom odhalenia prítomných porúch, ktorých na lietadle existuje skoro neobmedzené množstvo. Výrobcom uľahčujú personálu údržby prácu tým, že špecifikujú miesta, ktorým treba venovať pozornosť ako aj ich charakteristické poruchy [1].

Často vizuálne kontrolované oblasti

Jedným z najviac neprehliadnuteľných poškodení je vonkajšie poškodenie draku, ktoré je zapríčinené stretom s cudzími predmetmi (Foreign Object Damage). Tento typ poškodenia obvyčajne vzniká pri strete svtákmi, krupobitím alebo pri neopatrnej obsluhu pozemným personálom.

Sústavám s kvapalinami sa kontroluje úroveň hladiny prevádzkovej kvapaliny a pri potenciálnom poklese sa vyšetruje príčina úniku. Vo väčšine prípadov je príčinou opotrebené tesnenie, ktorého výmena nie je náročná ani nákladná.

Sústavám s plynmi sa pri prehliadke kontroluje správnosť indikácie tlaku a množstva plynu. Sú to systémy, ktorých pracovným médium je kyslík, dusík alebo vzduch.

Na podvozku sa kontroluje viacero poruchových stavov. Pneumatikám sa preveruje opotrebenie behúňa, správna hodnota tlaku vzduchu alebo ich pošmyknutie voči disku. Ďalej sa skúma opotrebenie brzd, podvozковой nohy a funkčnosť zaťahovacieho mechanizmu.

Pitotové trubice, snímače uhlu nábehu a ostatné snímače sú kontrolované kvôli priechodnosti a prevádzkyschopnému stavu. Keďže tieto snímače kvôli náchylnosti k namŕzaniu často zahŕňajú zahrievacie telesá, musí byť zaistené, že sa neprehrievajú ale fungujú správne [1].

Okrem množstva ďalších sa kontroluje chod všetkých pohyblivých komponentov, prehrievanie elektroinštalácie [6], absencia spojovacieho materiálu, správny chod motora a vrtule [7].

3.1.3. Boroskopia

Okrem klasických pomôcok ako je baterka, lupa a zrkadlo sa v posledných rokoch pri vizuálnych inšpekciách využívajú boroskopy. Sú to zariadenia, ktoré vďaka svojmu štíhlemu a ohybnému telu dovoľujú technikovi nahliadnúť do nedostupných miest konštrukcie bez nutnosti demontáže.

Takúto vymoženosť umožňujú vďaka kamerám umiestneným na ich koncoch. Niekedy sa použitie boroskopu kvôli charakteru inšpekcie radí medzi nedeštruktívne skúšky.

3.2. Odstraňovanie korózie, posúdenie a opätovná ochrana

Korózia, tak ako v iných odvetviach, vyskytuje sa aj v letectve a musia sa podniknúť kroky na jej odstránenie. Pri väčšine typov korózie ide o povrchovú oxidáciu, ktorá však nie je ochrannou vrstvou ako je tomu napríklad pri hliníku. Korózne napadnutie má na svedomí zmenšenie efektívneho prierezu prvku a tým pádom jeho oslabenie. Prítomnosť korózie býva katalyzátorom jej ďalšieho šírenia a býva často aj estetickým problémom

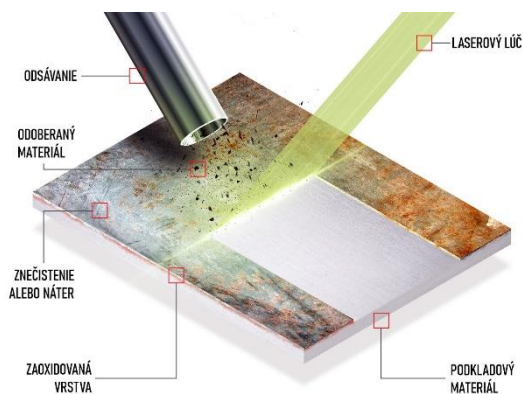
3.2.1. Očistenie povrchu a odstránenie náterov

Prvým krokom býva očistenie povrchu napadnutého prvku čistiacimi prostriedkami kvôli odstráneniu nečistôt, mazív a konzervačných látok. Ďalším úkonom býva odstránenie prítomných náterov. To sa spravidla dosahuje aplikáciou tekutých odstraňovačov.

3.2.2. Odstraňovanie produktov korózie

Pravdepodobne najdôležitejšou časťou ošetrovania korózie je správne a dôkladné odstránenie jej produktov. Techniky odstraňovania sa menia v závislosti od kovu, ktorý ošetrujeme a prítomnosti povrchových úprav. Odstraňovanie sa môže prevádzať mechanicky alebo chemicky, ale pre potreby letectva sa uprednostňuje druhý zo spomenutých spôsobov.

Relatívne mladou technológiou na odstránenie nečistôt, náterov alebo produktov korózie z vyšetovaných povrchov je čistenie laserom. Toto čistenie výhodami výrazne prevyšuje konvenčné metódy čistenia, navyše je absolútne šetrné k ošetrovanému prvku.



Obrázok 3: Laserové čistenie. Zdroj: <https://www.p-laser.com/about/the-technology>

3.2.3. Ochrana styku disimilárnych kovov

Niektoré kovy podliehajú korózii už pri kontakte s inými kovmi. Tento jav sa nazýva elektrolytická alebo disimilárna korózia kovov. Navzájom disimilárne kovy sa preto musia oddeľovať ochrannými separátormi (vinylová páska alebo vrstvy chromanu zinočnatého) [1] [4]

3.2.4. Postupy a zlúčeniny aplikované pri povrchových úpravách

Hlavným účelom povrchových úprav je odolnosť prvku voči korózii, avšak povrchové úpravy sa tiež aplikujú kvôli zníženiu rýchlosti opotrebovania alebo poskytnutiu vhodného podkladu pre náter. Najbežnejšími povrchovými úpravami sú eloxovanie, pasivácia alebo aplikácia ochranných náterov. Pri spomenutých úpravách sa však manipuluje s toxickými alebo horľavými chemikáliami a preto je dôležité vykonávať postup odborne a podľa pokynov.

3.2.5. Preventívna údržba

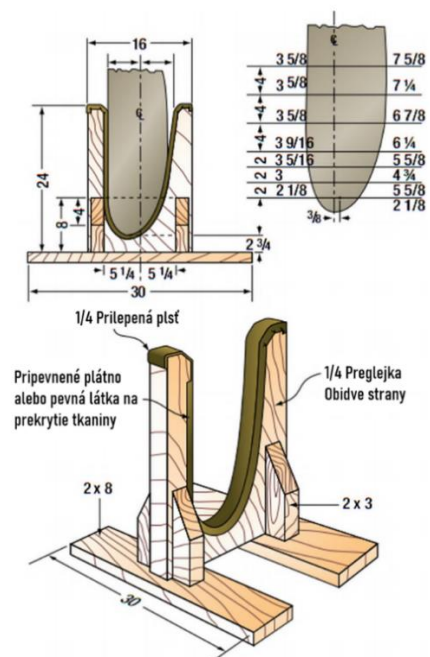
Napriek všetkým vylepšeniam zameraných na boj s koróziou, je korózia stále problém, ktorý si vyžaduje neustálu preventívnu údržbu. Tá zahŕňa pravidelné čistenie, mazanie a kontrolu, pretože po zanedbaní údržby je rozsah nápravných úkonov o znovuoobnovenie stavu lietadla zvyčajne veľký [1].

3.3. Všeobecné postupy a zásady opráv

Pri vykonávaní opráv je dôležité postupovať systematicky a v súlade s príručkou konštrukčných opráv. Pri opravách je nevyhnutné zachovať pôvodné kvality opravovaného alebo nahradeného prvku.

3.3.1. Odhalenie a posúdenie poškodenia

Obhliadka objaveného poškodenia a presný odhad požadovaného druhu opravy sú najdôležitejšími krokmi opráv konštrukčných prvkov. Odhad zahŕňa vyhodnotenie najlepšieho typu a tvaru záplaty, typ, veľkosť a počet potrebných nitov, pevnosť, hrúbku a druh požadovaného materiálu kvôli zachovaniu pôvodnej hmotnosti a pevnosti opravovanej časti. Pri identifikácii poškodenia sa podľa potreby používajú nedeštruktívne metódy [1].



Obrázok 4: Stojan na držanie lietadlových komponentov počas opráv. Zdroj: [1].

Klasifikácia poškodenia

Poškodenia môžu byť podľa potreby roztriedené do niekoľkých kategórií. Do týchto kategórií sú poškodenia začlenené na základe ich akútnosti, rozsahu a potrebných nápravných riešení. Poškodenie môže byť častokrát tak závažné, že jediným riešením je kompletná výmena komponentu.

3.3.2. Všeobecné zásady

Počas opravného procesu sa musí personál riadiť niekoľkými všeobecnými zásadami. Predovšetkým sa jedná o potrebu zachovania pôvodnej pevnosti konštrukcie. Kde nielen menšia pevnosť je nebezpečným stavom ale aj zvýšená pevnosť, ktorá znižuje flexibilitu celej lietadlovej konštrukcie predpísanej výrobcom. Ďalšou zásadou, viac než v ktoromkoľvek inom odvetví, sa stala požiadavka zachovania minimálnej hmotnosti opráv. Medzi rozložením hmotnosti lietadla a jeho stabilitou existuje veľmi krehká závislosť a preto akékoľvek pridanie hmotnosti vykonanou opravou musí byť schválené a patrične zdokumentované. Pri opravách vonkajších častí lietadla, ktoré sú vystavené obtekaniu vzduchu, sa kladie požiadavka na zachovanie aerodynamickej čistoty draku lietadla. Neprofesionálne vyhotovenie, vyčnievajúce z obrysu okolitej konštrukcie zvyšuje stres na konštrukciu, rozrušuje laminárne prúdenie a indukuje dodatočný aerodynamický odpor.

3.4. Často vykonávané opravy lietadlových konštrukcií

Postupom času bolo odsledované že niektoré komponenty, sú na poškodenie náchylnejšie ako ostatné. Opravujú sa štandardizovanými opravami, ktoré sa často vyskytujú aj v manuáli konštrukčných opráv.

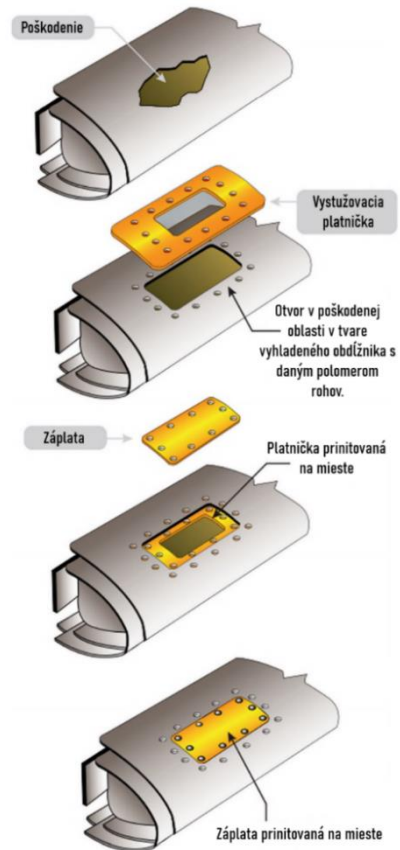
Najčastejšie sa na lietadlách opravuje poťah, a to kvôli jeho stretom s cudzími predmetmi. Keďže poťah dnešných konštrukcií lietadiel prenáša zaťaženia (je nosný) a sprostredkúva prenos síl, musí sa opravovať veľmi dôsledne. Poškodenie kovového lietadlového pláštá prekračujúce limity opraviteľnosti si vyžaduje výmenu celého panelu. Panel musí byť taktiež vymenený, ak sa v danej časti nachádza až príliš mnoho predošlých opráv [1].

Za časté opravy, týkajúce sa draku lietadla sú považované opravy nosníkov, pozdĺžnikov, trupových priečok a prepážiek. Tie sa vyhotovujú pre každý prípad špeciálne, na základe závažnosti a prístupnosti poškodenia. Z oblasti krídel sa napríklad jedná o opravy rebier, pozdĺžnych výstuh, nábežných a odtokových hrán. Pri opravách spomenutých hrán krídel je najpodstatnejšie vytvárať poťah do presne špecifikovanej podoby, keďže nábežná hrana prichádza do styku s nabiehajúcim prúdom vzduchom ako prvá a tak kladie základ správnej aerodynamiky krídla.

Ďalšími častými, sú opravy plavákov hydroplánov, pretože tie sú nechránene vystavené korozívnym podmienkam a preto môžu vykazovať netesnosť. V horšom prípade bývajú plaváky značne poškodené stretom s cudzími predmetmi. No a častými závadami bývajú aj napríklad prasknutia odľahčovacích otvorov, ktoré sa nachádzajú v celej škále konštrukčných prvkov aby odľahčovali celkovú konštrukciu.

3.4.1. Záplaty

Mnoho zo spomenutých komponentov sa opravuje pomocou záplat. Záplaty sa aplikujú na poťah, nosníky, prepážky a steny rebier a môžu byť vyhotovené ako odstávajúce z povrchu alebo s povrchom zarovnané. Zarovnanými záplatami musia byť obzvlášť opravené poškodenia pláštá, ktoré sú priamo vystavené obtekaniu vzduchu. Charakteristiky záplat, špecifiká nitov a odporúčené úkony sa nachádzajú v príručke konštrukčných opráv.



Obrázok 5: Poškodenie pláštá opravené zarovnanou záplatou. Zdroj: [1].

3.5. Nedeštruktívne skúšanie materiálov

Nedeštruktívne skúšanie materiálov /NDT/ má významnú úlohu pri identifikácii chýb vo výrobku alebo už inštalovanom komponente, ktoré by mohli vyvolať haváriu konštrukcie po určitej dobe prevádzky. Pre detekciu a kvantitatívne vyhodnotenie zistených chýb v obore nedeštruktívneho skúšania sa používa celá rada metód využívajúcich rôzne fyzikálne princípy [2].

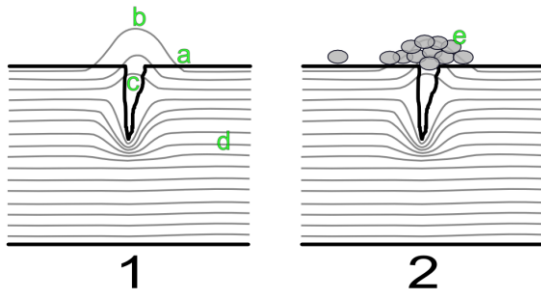
Nedeštruktívne metódy skúšania môžeme rozdeliť z hľadiska praktickej aplikácie do dvoch základných skupín: povrchová a podpovrchová defektoskopia [2].

3.5.1. Povrchová defektoskopia

Metódy pre zisťovanie chýb nachádzajúcich sa na povrchu alebo v blízkosti povrchu súčiastky (trhliny, preložky, vruby, neprievary, atď.) [2].

Magnetická prášková metóda

Využívame ju pri detekcii povrchových chýb. Poznáme suchý ako aj mokrý variant skúšky. Druhý zo spomenutých je však kvôli lepším výsledkom preferovaný častejšie. Pri mokrom variante sa komponent zmáča fluorescenčnou kvapalinou s magnetickým práškom. Táto suspenzia zviditeľňuje zmeny magnetického poľa v mieste trhliny alebo inej povrchovej nehomogenity. Kvôli nevyhnutnej magnetizácii súčiastky je aplikovateľná len na feromagnetických materiáloch. Následná interpretácia indikácií prebieha pod ultrafialovým svetlom [2].



Obrázok 6: Rozloženie siločiar magnetického poľa v okolí vady a indikácia. Zdroj: [3].

1. Rozloženie siločiar intenzity magnetického poľa vo feromagnetickom materiáli v okolí vady.
2. Indikácia tvorená zrnkami detekčného prostriedku.
 - a. Magnetický pól - miesto kde siločiar vystupujú z materiálu.
 - b. Rozptylový magnetický tok - siločiar, vystupujúce z materiálu.
 - c. Vada.
 - d. Siločiar magnetického poľa.
 - e. Indikácia tvorená detekčným prostriedkom [3].

Kapilárna metóda (skúška pomocou tekutého penetrantu)

Táto metóda je založená na princípe kapilárnej vzliňavosti kvapaliny zachytenej v povrchových trhlínach. Môže byť použitá aj na iných typoch materiálov s výnimkou vysoko poréznych. Kapilárna defektoskopia odhaľuje únavové praskliny, pórovitosť, tepelné nespojitosti kovových odliatkov, obrúsené miesta, praskliny pri kalení alebo spájani. Pri detekcii využívame farebnú alebo fluorescenčnú detekčnú kvapalinu (penetrant) [2].

Metóda vírivých prúdov

Metóda vírivých prúdov sa často používa v leteckom priemysle na skúšanie elektricky vodivých materiálov. Táto metóda funguje na princípe vzniku vírivých prúdov v testovanom dieľci. Vírivé prúdy sú v dieľci vyvolané magnetickým poľom ktoré je vytvorené budiacim cievkovým systémom. Vírivé prúdy však okolo seba vytvárajú sekundárne magnetické pole ktoré v snímacom cievkovom systéme vytvára určité napätie. Zmena tohto napätia je vyhodnocovaná a predstavuje prípadné nedokonalosti. Táto skúška funguje vďaka elektrickej vodivosti a permeabilite materiálu testovaného prvku. Je veľmi dobre realizovateľná, napr. pri detekcii povrchových trhlín v súčiastkach z hliníkových zliatin [2].

3.5.2. Podpovrchová defektoskopia

Metódy pre zisťovanie chýb v celom objeme súčiastky (dutiny, inklúzie, studené spoje, atď.) [2].

Rádiografická metóda

Umožňuje zobrazit vnútorné nehomogenity resp. chyby na röntgenový film prejavene vplyvom zníženia absorpcie ako tmavšie útvary. Pri tejto metóde ako zdroj žiarenia používame röntgenové prístroje alebo niektoré typy izotopov. Rozsah hrúbok, ktoré môžeme touto metódou skúšať, je obmedzený. Najčastejšie využitie tejto metódy je pre kontrolu zvarov a odliatkov [2].

Ultrazvuková metóda

Využívame ju pri detekcii odrazu ultrazvukových vln od nehomogenít, ako aj na meranie zvyškovej hrúbky komponentov. Túto metódu používame aj pre kontrolu kovových i nekovových materiálov. Výhodou je možnosť skúšania súčiastok veľkých hrúbok [2].

3.5.3. Odborná spôsobilosť

Praktická aplikácia všetkých NDT metód kladie značné nároky na operátorov po fyzickej stránke a zároveň vyžaduje odborné znalosti. Z tohto dôvodu musia pracovníci v odbore NDT absolvovať predpísané odborné školenie a byť certifikovaní pre jednu alebo viac metód [2].

3.6. Demontáž a opätovná montáž

Konštruktéri okrem komponentov alebo systémov v lietadle, navrhujú taktiež postupy ich demontáže a montáže. Tieto postupy sa nachádzajú v údržbových manuáloch lietadla, motoru alebo komponentu a vždy sa musí postupovať podľa ich inštrukcií [1].

Demontáž lietadlových komponentov býva poväčšine prvým alebo po inšpekcii hneď druhým úkonom údržby. Demontáž komponentu z konštrukcie zaisť jeho lepšiu prístupnosť a možnosť manipulácie. Postup demontáže je vykonávaný aj kvôli nevyhnutnosti izolácie súčastí, na ktorej budú prebiehať reparačné techniky. Nepriamou výhodou každej demontáže je umožnenie prístupu k súčastiam, ktoré boli inak nedostupné a technikmi nekontrolované.

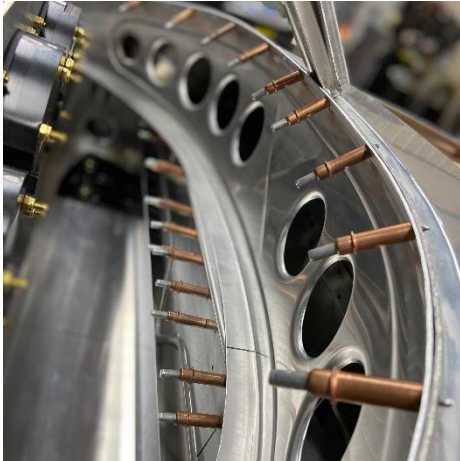
Opätovná montáž je zase úplne poslednou sekvenciou údržby. Počas nej sa na konštrukciu montujú alebo inštalujú komponenty, ktoré podstúpili opravu alebo komponenty nové. Po úspešnej montáži sa zostava často podrobuje určitému typu testovania, ktoré odhalí prípadné nedokonalosti vykonanej opravy.

3.6.1. Spojovací materiál

Neodmysliteľnou súčasťou techník údržby je práca so spojovacím materiálom (nity, skrutky, matice, podložky a pod.). Pri demontáži technici pracujú na jeho odstránení a pri montáži na jeho začlenení. Tieto úkony však nie sú tak jednoduché ako by sa mohlo na prvý pohľad zdať, a preto sú špecifikované v príslušnej príručke. Napríklad kľúčovým je správne dotiahnutie a zaistenie skrutiek, v opačnom prípade ich nedeštruktívne odstránenie. Ak sa jedná o opakovateľne použiteľný spojovací

materiál, tak medzi jeho odstránením opätovným začlenením býva bezpečne uložený a patrične označený.

Na obrázku nižšie je zobrazená lietadlová konštrukcia s Cleco® upínačmi. Jedná sa o dočasný spojovací materiál, ktorý slúži na udržanie správnej vzájomnej pozície plechov do času montáže skrutiek alebo nitov. Cleco® upínače sa využívajú prevažne pri opravách lietadlového poťahu.



Obrázok 7: Cleco® upínače na konštrukcii. Zdroj: <https://sk.pinterest.com/pin/369084131965978621/>

3.6.2. Likvidácia prvkov

Veľa prvkov býva po odmontovaní z lietadla zlikvidovaných. Jednorazové použitie prvku je uznesené odporúčaniami výrobcu spolu so štandardnými postupmi. Likvidovanými prvkami bývajú filtre, tesniace krúžky, desikanty, palivo a oleje všetkých typov. Iné prvky sú ohraničené dobou prevádzky, počtom letových hodín alebo prevádzkových cyklov a po ich uplynutí musia byť vymenené [1].

4. Záver

Aj keď je letecká doprava najmladšou dopravou, rozvíja sa najdynamickejšie a za svoju existenciu prešla obrovským pokrokom. No tak ako sa modernizovala samotná technika, tak sa museli modernizovať a prispôbovať aj techniky kontrol a opráv. Napríklad v dnešnej dobe sú mladými metódami na poli posudzovania stavu komponentu nedeštruktívne skúšky. Jedná sa o typ povrchovej alebo podpovrchovej defektoskopie, pri ktorej nedochádza ku zničeniu komponentu. Odvetvie letectva si tieto skúšky získali svojimi vlastnosťami ako sú jednoduchosť, operatívnosť a schopnosťou nezničiť testovaný komponent.

Trendom zostáva, že do konštrukcií lietadiel sa začleňujú komponenty z nekonvenčných materiálov, ktoré kladú konštruktérom nové výzvy a od opravných spoločností požadujú nové postupy údržby. Na paluby lietadiel sa taktiež ustavične implementujú nové systémy, ktorým treba venovať dodatočnú osobitú pozornosť. Kvôli zavádzaniu inovácií a kvôli narastajúcim legislatívnym požiadavkám tak údržba lietadiel a zachovávanie ich prevádzkyschopnosti naberá na dôležitosti viac než kedykoľvek predtým.

Pravidelnou kontrolou a svedomitou opravou sa žiaduco udržuje dobrá kondícia lietadla, ktorá je synonymom jeho bezpečnosti. Údržba lietadiel vždy bola, je, a aj bude neodmysliteľnou

súčasťou prevádzky leteckej techniky. Pravidelnou údržbou sa znižuje pravdepodobnosť rizikových, dokonca tragických udalostí, preto je kľúčovým faktorom bezpečnosti letectva.

Pod'akovanie

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] EASA. 2016. Module 07A Maintenance Practices, Tabernash : Aircraft Technical Book Company, 2016. 529 p. ISBN 978-1941144039
- [2] Ijstudiocreatives. Wizaco. 2018. Dostupné na: <https://wizaco.eu/co-je-nedestruktivne-testovanie> (parafrázované 2021-04-22)
- [3] Wikipedie, otvorená encyklopedie. 2021. Dostupné na: https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_pr%C3%A1k%C5%A1kov%C3%A1_metoda (parafrázované 2021-05-18)
- [4] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A., KANDERA, B. and LUSIAK, T., 2020. Flight inspection with unmanned aircraft, Transport Means - Proceedings of the International Conference 2020, pp. 589-593.
- [5] NOVÁK, A., SEDLÁČKOVÁ, 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.
- [6] Novák, A., Novák Sedláčková, A., Janovec, M., 2020. Komunikačné systémy v letectve EDIS - Žilina, Žilinská univerzita v Žiline, 2020, ISBN 978-80-554-1737-0
- [7] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [8] Bugaj, M., Novák, A. 2010. Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy. 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

Matúš Littva – narodený dňa 22. 6. 1999 v Liptovskom Mikuláši. Do roku 2014 navštevoval ZŠ v Liptovskom Mikuláši, následne študoval na Gymnáziu sv. Andreja v Ružomberku. Od roku 2018 študuje na Žilinskej univerzite v Žiline na Fakulte prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov v študijnom programe Letecká doprava.

COMPARISON OF PILOT'S WORKLOAD DURING NDB AND ILS APPROACHES

POROVNANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTOV POČAS NDB A ILS PRIBLIŽENIA

Július Fedáš

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

Iveta Škvareková

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

Abstract

The paper is focused on the comparison of workloads of pilots during the precision ILS (Instrument Landing System) approach and non-precision NDB (Non-Directional Beacon) approach. For the needs of our work, we used technology to measure heart rate variability, which was used to collect the authoritative data needed to analyze the workload and stress levels of the tested participants. Our study involved four pilots, who were divided into two groups, a group of beginner pilots and advanced pilots. Practical measurements were performed on the flight simulator L410 UVP-E20, which is located in the premises of the Flight training and education center of the University of Žilina. The aim of our work was to find out and compare to what extent the workload during NDB and ILS approach of pilots with different levels of practical and theoretical experience will be different and also to compare these two approach systems with each other. We chose the final phase of the flight, due to its complexity and overall demands on piloting, which in this case has been the precision approach and non-precision approach. Practical measurement and analysis of the obtained data showed that the tested pilots indicated significant differences in the level of workload, resulting from their experience.. We also noticed a slight difference after comparing the two approaches. The conclusion of our work contains a summary of the measured results, as well as the perspective of the contribution of measuring the workload to the future and its use in a wider range.

Keywords

Workload, NDB, ILS, HRV, Pilot, Simulator

1. Úvod

Dizajn kokpitu lietadiel sa za posledných 30 rokov dramaticky vyvinul. Zvyšujúca sa automatizácia pridala dôležitú úlohu pre letovú posádku, a to správu všetkých letových systémov. V dôsledku toho sa mentálnej pracovnej záťaži posádok a riadiacich letovej prevádzky začala venovať zvýšená pozornosť. Pracovné zaťaženie je dôležité zameranie, pretože chyby môžu byť podnietené, ak požiadavky na mentálne úlohy presahujú možnosti daných jedincov. Tieto pochybenia môžu byť fatálne a výrazne znižujú celkovú bezpečnosť letovej prevádzky [3]. Vďaka vysokej spoľahlivosti moderných leteckých systémov sa ľudská výkonnosť stala kľúčovým zameraním a existuje snaha o dosiahnutie maximálnej bezpečnosti [22] a efektivity.

Mnoho autorov diskutovalo o použití merania variability srdcovej frekvencie (HRV) ako metódy na odhadovanie psychickej záťaže a psychického stresu pri úlohách zahrnujúcich bdelosť, spracovanie informácií a rozhodovanie. Opmeer a Krol [15] monitorovali neskúsených pilotov v simulátore, aby porovnali rôzne úrovne pracovnej záťaže pilotov pre rôzne letové úlohy. Dokázali rozlišovať podľa zvyšujúceho sa stupňa obťažnosti medzi letom v hladine, vyčkávacím obrazcom, vzletom a priblížením na pristátie. Aj tieto výskumy nás inšpirovali pri voľbe testovacej technológie, kedy sme zvolili práve už spomínané meranie variability srdcovej frekvencie na výpočet pracovnej záťaže a úrovne stresu pôsobiaceho na pilota.

Ako najvhodnejšiu letovú úlohu sme po uvážení zvolili niepresné priblíženie NDB a presné priblíženie ILS. Práve záverečná fáza letu, akou je prístrojové priblíženie na pristátie a samotné pristávanie je z pohľadu pracovnej a mentálnej záťaže jedna z najnáročnejších štádií, a teda bude slúžiť ako objektívny nástroj na porovnanie participantov s rozličnými úrovňami praktických a teoretických skúseností

Potreba presnej navigácie, za všetkých meteorologických podmienok, sa objavila už po prvých letových úspechoch. Rozvoju letectva a teda aj navigačným prostriedkom pomohli obe svetové vojny. Najvýznamnejšie sa stali rádionavigačné systémy umožňujúce nie len priestorovú navigáciu, ale sú užitočné aj pri strate orientácie a nepriaznivých poveternostných podmienkach. Rádionavigačné prostriedky pozostávajú zväčša z pozemného zariadenia (vysielač) a zariadenia umiestneného na palube lietadla (prijímač) [5].

1.1. NDB / ADF

Majáky NDB (Non-directional beacon) sú najstarším pozemným rádionavigačným zariadením používaným vytýčenie letových tratí ako aj na nepresné priblíženia na pristátie. Rádionavijáky NDB vysielajú vertikálne polarizované signály v pásmach krátkych a stredných vln v rozsahu 190 – 1750 kHz. Avšak vo väčšine prípadov je pracovná frekvencia majákov, s ktorými sa stretávame, 250 - 450 kHz [18].

Rádionavijáky NDB delíme na traťové a miestne:

- **Traťový maják NDB.** Sú využívané na traťové vedenie lietadiel alebo ako „fixy“ vo výčkávacích obrazcoch.
- **Locator (L).** Takéto rádiomajáky majú výrazne menší výkon a sú používané na prístrojové priblíženie. Často sú doplnené o vonkajšie (Outer Marker) a stredné (Middle Marker) návestidlo na stanovenie diaľky od prahu dráhy.

1.1.1. Palubný indikátor ADF

Dnes sa informácie o polohe lietadla vzhľadom na maják NDB zvyčajne vyobrazuje na dvojakých typoch palubných indikátorov. Prvým je zariadenie RBI (Relative Bearing Indicator), druhým novodobejším a oveľa nákladnejším je indikátor RMI (Radio Magnetic Indicator) [8] [23].

1.2. ILS

Najrozšírenejším systémom na presné priblíženie podľa prístrojov je v súčasnosti stále systém presných približovacích majákov ILS (Instrument Landing System) [24]. Aj napriek svojmu uvedeniu a implementácii už takmer pred päťdesiatimi rokmi, jedná sa o jeden z najpresnejších systémov presného priblíženia [8] [25].

ILS je systém zariadení na presné priblíženie, ktoré poskytujú pilotovi nepretržitú informáciu o vedení lietadla v horizontálnej a vertikálnej rovine počas konečného priblíženia. Pilot preto môže kedykoľvek posúdiť svoju polohu a odchýlku od predĺženej osi dráhy a od určenej roviny zostupu. Systém pozostáva z nasledujúcich komponentov:

- Rádiomaják „Localizer“ (LOC) – poskytuje vodorovné (ľavé / pravé) vedenie pozdĺž predĺženej stredovej osi dráhy.
- Rádiomaják „Glide Path“ (GP) – poskytuje vertikálne (nahor / nadol) vedenie k bodu dotyku dráhy, zvyčajne v 3 ° zostupe.
- Polohové návestidlá („markery“) – umiestnené na zemi, v predĺženej osi dráhy. Po ich preletení je pilot informovaný svetelne a akusticky, je tak schopný vyhodnotiť vzdialenosť od prahu dráhy [18].

Informácie ILS (LOC i GP) sú na palube lietadla zobrazované pomocou HSI alebo CDI (VOR/ILS) indikátora [26].

2. Pracovná záťaž v leteckej doprave

2.1. Stres

Stres sa bežne definuje ako reakcia tela na požiadavky, ktoré sú naň kladené. Telo sa neustále snaží udržiavať fyziologickú rovnováhu (homeostázu) napriek pôsobeniu rôznych vonkajších podmienok a disponuje množstvom mechanizmov na jeho udržanie. Napríklad pri zvyšovaní telesného tepla sa vytvára pot, ktorý chladiacim účinkom odparovania ochladzuje telo v snahe vrátiť ho na svoju normálnu teplotu. Len čo vonkajšie podmienky tieto homeostatické mechanizmy zaťažia dôjde k fyzickému stresu [17].

Aj keď je krátkodobá aktivácia stresovej reakcie pre telo nevyhnutná na zvládnutie záťažovej situácie, nadmerná a opakovaná aktivácia stresovej reakcie má za následok nežiadúcu činnosť organizmu. V období stresu sa mobilizuje energia

z telových zásob (glukóza, mastné kyseliny), ktorá je dôležitá pre uskutočnenie primeranej fyzickej aktivity, a tiež aktivuje konkrétne štruktúry mozgu, aby sa zabezpečil správny a rýchly duševný výkon, ktorý je nevyhnutný na zvládnutie danej stresovej situácie. Z osobného hľadiska môže byť zdroj stresu vonkajší alebo vnútorný [12].

2.1.1. Vonkajšie fyziologické faktory

Existuje množstvo vonkajších fyzických zdrojov stresu, napríklad: teplo, vibrácie, vlhkosť vzduchu, rôzne pachy a hluk. Ako je uvedené vyššie, účinky stresu sa kumulujú a negatívne dôsledky jedného zdroja znižia odolnosť jednotlivca voči iným formám stresu [17].

Všeobecný adaptačný syndróm je termín používaný na opis mechanizmu, ktorým jedinec reaguje na vonkajšiu skutočnú, vnímanú alebo očakávanú hrozbu. Syndróm je vyvolaný mechanizmom vzrušenia, ktorý funguje prostredníctvom autonómneho nervového systému (ANS). Toto riadi mnoho základných funkcií tela: dýchanie, cirkuláciu, trávenie. Nad ktorými obvykle nemáme vedomú kontrolu. Tento systém udržiava stav homeostázy. ANS je rozdelená do dvoch vetiev:

- Sympatická vetva - poskytuje telu zdroje potrebné na zvládnutie nového a náhleho zdroja stresu, známeho ako odpoveď „útok alebo útek“, a jeho účelom je pripraviť telo a myseľ na okamžitú fyzickú aktivitu.
- Parasympatická vetva - predlžuje mobilizáciu tela, dáva mu čas na nájdenie riešenia stresovej situácie a obnoví normálne fungovanie tela, keď pominie vnímané nebezpečenstvo [17].

Všeobecný adaptačný syndróm zahŕňa tri fázy, a to: poplachovú fázu, fázu odolnosti a nakoniec fázu vyčerpania [12].

2.2. Únava

Únava pilotov je v modernej leteckej prevádzke významným problémom, hlavne kvôli nepredvídateľnej pracovnej dobe, dlhému obdobiu služby, prerušeniam biorytmu a nedostatočnému spánku. Celý vplyv únavy na posádky lietadiel sa často nedoceňuje, ale veľa z jej škodlivých účinkov je známych už dávno. Lindberg spoznal škodlivé následky dlhých pracovných hodín (a dlhých období bdlosti) na letové výkony ešte v 20. rokoch 20. storočia a vedci začali skúmať negatívny vplyv rýchlych prechodov v časových pásmach začiatkom 30. rokov. Aj keď vedecké chápanie únavy, spánku, práce na zmeny a biorytmickej fyziológie za posledných niekoľko desaťročí významne pokročilo, súčasné predpisy a priemyselné postupy z veľkej časti nedokázali adekvátne zapracovať nové poznatky [11, 4].

2.2.1. Symptómy únavy

Únava je spojená so skráteným reakčným časom, znížením bdlosti, ako aj so zníženou rozhodovacou schopnosťou, zlým úsudkom a stratou situačného vedomia. Medzi ďalšie príznaky patrí celkové zhoršenie výkonu, znížené psychomotorické koordinačné schopnosti, schopnosti spracovania informácií a rozhodovacie schopnosti [9].

V oblasti diaľkových letov piloti často pripisujú svoju únavu spánkovej deprivácii a biorytmickým poruchám spojeným s

prechodmi v časových pásmach. Aj keď pilotom na diaľkových trasách sú počas letov trvajúcich 12 a viac hodín ponúkané možnosti spánku počas letu, výskum ukázal, že spánok je menej pokojný ako spánok doma, a to predovšetkým kvôli hluku, turbulenciám, teplote, osvetleniu a ďalším faktorom ovplyvňujúce pohodlie [19]. Piloti lietajúci na krátke vzdialenosti najčastejšie pripisujú svoju únavu nedostatku spánku a vysokej pracovnej záťaži [1].

Cabon a kol. preukázali, že piloti diaľkových letov boli obzvlášť citliví na zníženie ostrážitosti počas obdobia nízkej pracovnej záťaže. Ďalej sa zistilo, že tieto zníženia sa mohli objaviť súčasne u oboch členov posádky, čo je zjavný bezpečnostný problém [2].

2.3. Pracovná záťaž

Každý človek má obmedzenú kapacitu dostupnú na spracovanie a reakciu na informácie. Za väčšiny podmienok vedie zvýšenie náročnosti úlohy k zvýšeniu výdavkov na zdroje potrebné na jej splnenie. Ak požiadavky na spracovanie úlohy prekročia dostupnú kapacitu, výsledné preťaženie môže viesť k zníženiu výkonu jedinca. Pojem pracovné zaťaženie označuje tú časť obmedzenej kapacity človeka, ktorá sa skutočne vyžaduje na vykonanie konkrétnej úlohy [16].

Pracovné zaťaženie pilota závisí od aktuálne fázy letu, napríklad let podľa prístrojov (IFR) generuje podstatne vyššie pracovné zaťaženie ako let za viditeľnosti (VFR). Pozorovania ukazujú, že najväčšie pracovné zaťaženie pilota súvisí s fázou vzletu alebo pristátia, v porovnaní s fázou letu v hladine alebo VFR. Preto je potrebné upozorniť na túto skutočnosť a prijať náležité opatrenia na zníženie tohto rizika, ktoré môže viesť k smrteľným nehodám alebo incidentom [14]. Pracovná záťaž je v skutočnosti ďalej ovplyvňovaná prostredníctvom ďalších faktorov, ktoré letová posádka nemá pod kontrolou, ako sú poveternostné podmienky, viditeľnosť, hustota premávky alebo dokonca komunikačné požiadavky [21]. Tieto fyziologické faktory však môžu taktiež spôsobiť zmenu a zhoršenie základných kognitívnych schopností a môžu tiež zhoršiť racionálne myslenie a koncentráciu pilota, ktoré vedú k vyššej chybovosti počas letu [13].

Wei, Zhuang, Wanyan, Liu a Zhuang preukázali vhodnosť meraní variability srdcovej frekvencie na rozlíšenie medzi úrovňami duševnej pracovnej záťaže, čo ilustruje zníženie štandardnej odchýlky intervalov RR, keď bola zadaná úloha pre účastipanta náročnejšia [20].

3. Metodika merania

Predmetom skúmania tejto práce je porovnanie pracovného zaťaženia pilotov pri NDB a ILS priblížení. Cieľom meraní je určiť rozdiely vo fyziologických prejavoch pilotov pomocou merania variability srdcovej frekvencie (HRV). Na základe nich určiť výhody a rozdiely pri oboch spôsoboch priblíženia a porovnanie zaťaženia pre pilota pri ich vykonávaní.

3.1. Testované subjekty

Merania zahŕňali 4 pilotov, vzhľadom na miesto konania boli vybraní piloti študentami Žilinskej univerzity, študijného programu Profesionálny pilot v rôznom štádiu výcviku s rôznym počtom letových hodín.

Účastníci boli poučení a oboznámení o priebehu meraní. Pre potreby výskumu boli rozdelení do dvoch skupín: začiatočník a pokročilý.

3.1.1. Začiatočník

V tejto skupine sa nachádzajú piloti s dokončenou VFR častou integrovaného výcviku, ktorý absolvovali zatiaľ len teoretickú prípravu na lietanie IFR. Majú teda najmenšiu skúsenosť so simulátorom a praktickým priblížením NDB a ILS.

3.1.2. Pokročilý

V kategórii pokročilý sú piloti s dostatočne veľkou skúsenosťou na simulátore. Aktívne participujú v prístrojovom lietaní a bližšie sa k ukončeniu ich výcviku. Majú najviac nalietaných hodín a celkové skúsenosti v porovnaní so skupinou začiatočníkov.

3.2. Testovacia technológia

3.2.1. Simulátor letúna L-410 UVP-E20

Z dôvodu bezpečnosti a lepšej dostupnosti sme všetky merania uskutočnili na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20 s dvoma turbovrtuľovými motormi s možnosťou zavedenia spätnej väzby. Hardvérová časť simulátora má skutočné rozmery kokpitu letúna zrealizované v mierke 1:1 a spĺňa požiadavky, ktoré sú kladené na simulátor kvalifikácie „FTD Level 2“ a zároveň FNPT II MCC v zmysle štandardov CS-FSTD (A) súčasných predpisov a noriem platných v SR.

3.2.2. HRV CorSense ELITE

Na odmeranie variability srdcovej frekvencie sme sa rozhodli použiť zariadenie HRV CorSense ELITE. Senzor bol upevnený na špičku ukazováka meranej osoby, týmto spôsobom prístroj minimálnou mierou obmedzuje pilota v pohybe a nespôsobuje neželané rozptyľovanie.

3.3. Trajektórie nalietavania

Vybraní účastníci testovania sú aktívne zaradení do leteckého výcviku na Žilinskej univerzite, a teda sú dobre oboznámení s letiskom Žilina (LZZI) nachádzajúcom sa v obci Dolný Hričov. Zvolili sme nepresné prístrojové priblíženie (NDB) a presné prístrojové priblíženie (ILS) na dráhu 06 pre vzlet aj pristátie.

3.4. Postup Merania

Merania boli uskutočnené na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20, nachádzajúcom sa v budove LVVC Žilinskej Univerzity na letisku LZZI v Dolnom Hričove.

Meranie a metodika meraní pozostávali z niekoľkých bodov:

- Predletová príprava
- Oboznámenie pilotov so simulátorom
- Zapojenie zariadenia HRV CorSense ELITE
- NDB priblíženie
- ILS priblíženie

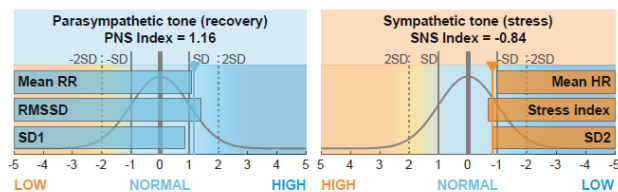
Predletová príprava zahŕňala oboznámenie každej testovanej skupiny pilotov s priebehom meraní a s navigačnou a letovou úlohou, ktorú budú vykonávať.

Zapojenie zariadenia na meranie variability srdcovej frekvencie HRV CorSense ELITE bolo pripojené na ukazovák pilotovi po usadení v kabíne. Následne došlo k spárovaniu s mobilným telefónom.

Meranie variability srdcovej frekvencie bolo spustené súbežne so simulovaním na letovom simulátore a trvalo až po dosadenie na dráhu a zastavenie letúna. Tento postup bol zopakovaný pre NDB a aj ILS priblíženie a pre každého účastníka.

4. Analýza a výsledky meraní

Dáta namerané pomocou zariadenia HRV CorSense od spoločnosti ELITE sme spracovali pomocou počítačového softvéru Kubios HRV, určeného na analýzu variability srdcovej frekvencie. Rozhodujúce údaje pre nás budú hodnoty sympatikovej (SNS) a parasympatikovej (PNS) vetvy. Ako bolo opísané v kapitole o pracovnej záťaži v leteckej doprave, vetva sympatika pomáha telu zvládnuť nové a náhle zdroje stresu a jeho účelom je pripraviť telo a myseľ na okamžitú fyzickú aktivitu. Naopak v čase pokoja a kludu, po odznení mentálnej záťaže, ktorá pôsobí na organizmus prevláda dominancia parasympatikovej vetvy. Počas pracovnej záťaže predpokladáme nárast sympatika a pokles celkového HRV a parasympatika.



Obrázok 1: Graf s hodnotami parasympatika a sympatika. Zdroj: Autori.

Vyššie uvedený obrázok je graf spracovaný pomocou softvéru Kubios HRV zahrňujúci vetvu parasympatika (PNS index) a sympatika (SNS index) jedného z účastníkov. Oba indexy sú ovplyvnené a zadefinované viacerými faktormi, ktoré taktiež závisia od aktuálnej mentálnej záťaže jedinca.

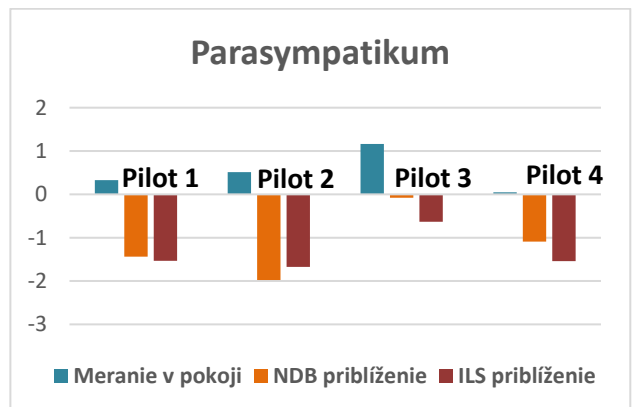
V parasympatikovej časti grafu sa nachádzajú ovplyvňujúce faktory ako:

- **Mean RR** (stredná hodnota RR) – predstavuje dĺžku srdcového komorového cyklu a meria sa medzi maximami dvoch kmitov [10]. Dlhší priemerný interval RR znamená nižšiu srdcovú frekvenciu a vyššiu parasympatickú srdcovú aktiváciu [6], [7].
- **RMSSD** (root mean square of successive differences) – označuje sa ako druhá odmocnina druhých mocnín rozdielov dĺžky vzápätí po sebe nasledujúcich RR intervalov [10].
- **SD1** – vyjadruje krátkodobú variabilitu. Využíva sa na premietnutie bodov do Poincarého grafu [10].

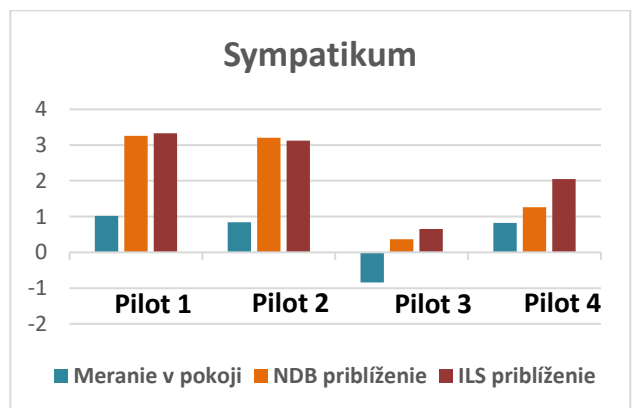
V pravej časti môžeme vidieť sympatikovú časť grafu spolu s faktormi ktoré ju definujú:

- **Mean HR** (stredná hodnota HR) – stredná hodnota tepu srdca. Vyššia srdcová frekvencia súvisí s vyššou sympatickou srdcovou aktiváciou [10].
- **Stress index** (stresový index) – je geometrická miera HRV, odrážajúca stres kardiovaskulárneho systému. Vysoké hodnoty stresového indexu naznačujú zníženú variabilitu a vysokú sympatickú srdcovú aktiváciu [6].
- **SD2** – popisuje dlhodobú variabilitu. Taktiež sa využíva na premietnutie bodov do Poincarého grafu [10].

Uvedené grafy znázorňujú hodnoty parasympatika a sympatika jednotlivých účastníkov.



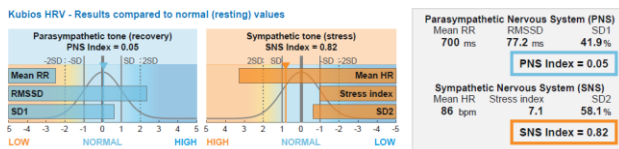
Graf 1: Parasympatikum počas merania v pokoji a počas NDB a ILS priblíženia. Zdroj: Autori.



Graf 2: Sympatikum pilotov počas merania v pokoji a počas NDB a ILS priblíženia. Zdroj: Autori.

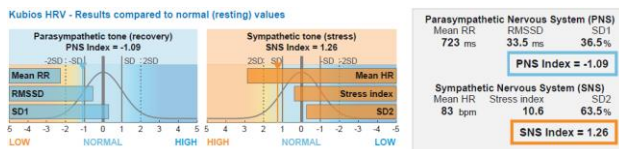
4.1. Analýza pilota 4

Výsledky a závery si ukážeme na poslednom účastníkovi, ktorý bol súčasťou praktickej časti tejto práce. Pilot 4 je všeobecnými znalosťami zrovnateľnej úrovni s pilotom 3, aj keď jeho praktické znalosti daného simulátora sú menšie. Tieto faktory nás donútili sa domnievať, že nami namerané hodnoty pracovnej záťaže a stresu sa budú pohybovať niekde medzi skupinou pilotov začiatníkov a účastníkom číslo 3. Praktická časť započala opäť meraním pokojového HRV a ukázala pomerne vysokú úroveň pokoja. Aj keď je hodnota PNS v porovnaní s ostatnými účastníkmi nízka, vetva SNS nijakým spôsobom nevybočuje od nami zisteného rozsahu.



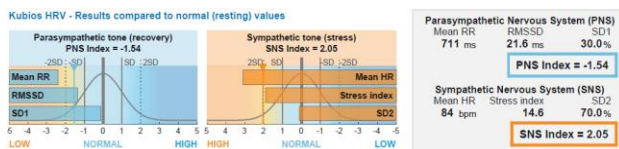
Obrázok 2: Indexy pilota 4 pre pokojové meranie. Zdroj: Autori.

Aj posledný participant absolvoval praktické meranie na simulátore. Rovnako ako piloti pred ním, aj tento účastník začal priblížením NDB a meranie zakončil priblížením ILS, obe na dráhu 06 letiska LZZI. V tomto prípade neboli znova potrebné rozsiahle teoretické prípravy, postačovala krátka úvodná inštrukcia a poučenie o nadchádzajúcich úlohách. Dobré teoretické vedomosti pilota 4 dávali očakávanie o miernejšom navýšení záťaže. Výsledky po lete, trvajúcim 14 minút a 3 sekundami, to potvrdili. Vetva parasympatika klesla o 0,14 a súbežne s ňou vetva sympatika stúpila o 0,44. Hlavne v porovnaní s menej skúsenou skupinou je to nepatrné zvýšenie pilotovej záťaže.



Obrázok 3: Indexy pilota 4 pre NDB priblíženie. Zdroj: Autori.

Praktické merania uzavrelo priblíženie ILS, vykonané štvrtým participantom. Už poučený o priebehu, vykonal zadanú úlohu. Odhad bol, že sa bude niesť v rovnakom alebo aspoň podobnom duchu ako predchádzajúce priblíženie NDB. Praktické získavanie dát ukázalo opäť navýšenie úrovne pracovnej záťaže a rovnako aj stresu pôsobiaceho na pilota 4. Index PNS poklesol o číselnú hodnotu 1,59 a SNS index sa navýšil o 1,23. Celá doba ILS priblíženia bola 15 minút a 50 sekúnd.



Obrázok 2: Indexy pilota 4 pre ILS priblíženie. Zdroj: Autori.

Podobne ako prvý a tretí účastník, aj u tohto nastalo väčšie zvýšenie záťaže a stresu pri presnom priblížení ILS. Hodnoty vypovedajú o niečo intenzívnejšie zaťaženie participanta 4 oproti druhému pilotovi zaradeného do skupiny pokročilých. To potvrdzuje domnienku, ktorú sme nadobudli zo skúseností z predchádzajúcich meraní, že vďaka lepším vedomostiam a teoretickým skúsenostiam sa budú jeho namerané dáta nachádzať medzi skupinou pilotov začiatočníkov a tretím participantom.

Z našej skromnej vzorky pilotov, u troch participantov nastalo väčšie navýšenie pracovnej záťaže a úrovne stresu počas ILS priblíženia a len pilot 2 pocítil vyššiu záťaž pri NDB priblížení. Smerodajné sú hlavne údaje nadobudnuté po odmeraní pilotov v pokročilej skupine. Dá sa očakávať omnoho korektnějších pilotáž, správnejšie vykonané obe priblíženia a teda s tým spojené menšie zvýšenie záťaže vyplývajúcej už zo samotnej neznalosti daného simulátora a slabších praktických skúseností. U každého participanta sa pracovná záťaž zvýšila bez ohľadu na

to či je menej alebo viac skúsený, ale zmena bola v skupine začiatočníkov omnoho očividnejšia. To ukazuje že praktické a teoretické skúsenosti majú priamy vplyv na potencionálne zvýšenie pracovnej záťaže a stresu počas rôznych letových úkonov.

V nasledujúcej tabuľke prehľadne uvedieme rozdiely PNS a SNS indexu medzi pokojovým meraním a pre NDB priblíženie, pre pokojové meranie a ILS priblíženie a samozrejme aj porovnanie oboch priblížení navzájom. Takéto porovnanie je v tabuľke zahrnuté pre každého participanta z nášho merania.

Tabuľka 1: Porovnanie rozdielov medzi pokojovým meraním a NDB priblížením, pokojovým meraním a ILS priblížením a medzi NDB a ILS priblíženiami. Zdroj: Autori.

		Rozdiel medzi meraniami:		
		Pokojuvé – NDB	Pokojuvé – ILS	NDB – ILS
Pilot 1	PNS index	1,77	1,86	0,09
	SNS index	2,24	2,31	0,07
Pilot 2	PNS index	2,49	2,18	0,31
	SNS index	2,36	2,28	0,08
Pilot 3	PNS index	1,24	1,79	0,55
	SNS index	1,21	1,49	0,28
Pilot 4	PNS index	1,14	1,59	0,45
	SNS index	0,44	1,23	0,79

Z vyššie uvedenej tabuľky je možné jednoduchšie a prehľadnejšie vyčítať počas ktorého priblíženia nastala väčšia zmena indexov PNS a SNS oproti referenčnému pokojovému meraniu. Je vidieť, že hodnoty rozdielov dosahované pilotom 1, pilotom 3 a pilotom 4 sú väčšie v prípade ILS priblíženia. Len pilot číslo 2 pocítoval výraznejšie zvýšenie pracovnej záťaže a stresu pri priblížení NDB. Rovnako je z tabuľky jednoznačné, že skupina pokročilých pilotov ma v niektorých prípadoch aj viac ako dvojnásobne väčší nárast vetvy PNS a SNS v porovnaní s menej skúsenými pilotmi.

5. Záver

Zdalo by sa, že zdokonalenie dostupného technického vybavenia malo prakticky vylúčiť letecké nehody s výnimkou najnepriaznivejších podmienok, ale tieto nehody nevyzli takou rýchlosťou, ako by sa dalo očakávať od rýchleho technologického pokroku. Faktor, ktorý sa nezmenil a stále pretrváva, je ľudská bytosť. V správach o leteckých nehodách je často vidieť, že príčinou bola „chyba pilota“, ale správnejším dôvodom je samozrejme „ľudská chyba“.

Praktickej časti, ktorá pozostávala z meraní na letovom simulátore letúna L-410 UVP-E20 sa zúčastnili spolu štyria participanta. Tí boli ďalej rozdelení do dvoch podskupín, a to na začiatočníkov a pokročilých. Tento počet účastníkov nie je určite dostatočný pre dosiahnutie optimálnych výsledkov, ale vzhľadom na pandemickú situáciu v čase písania práce a nemožnosť prístupu k letovému simulátoru väčšiemu rozsahu pilotov, sa nám aj z tejto malej nameranej vzorky podarilo vyťažiť čo najviac a urobiť niekoľko zaujímavých záverov.

Porovnaním nameraných hodnôt HRV jednotlivých pilotov sme dospeli k záveru, že najväčšie zvýšenie pracovnej záťaže a pôsobiaceho stresu, nastalo v skupine pilotov považovaných za začiatočníkov. Menšia úroveň praktických a teoretických skúseností spôsobila, že piloti začiatočníci zvládali letovú úlohu s väčšími ťažkosťami. K tomu prispela aj skutočnosť, že disponovali nulovou skúsenosťou s nami použitým letovým simulátorom, a teda aj samotné korektné zvládnutie pilotáže pôsobilo ako významný stresor. Zrovnateľný počet nalietaných hodín a predpokladané skúsenosti pilotov 1 a 2 bol presvedčivo faktor, ktorý sa podpísal na ich takmer totožných nameraných hodnotách.

Značne lepšie si počínali pokročilí participanti. Pilot 3, disponujúci značnými praktickými skúsenosťami s daným simulátorom a jeho rozsiahlejšie vedomosti zapríčinili až dvojnásobne menšie zvýšenie parametrov pracovnej záťaže a stresu oproti pilotovi 1 a 2. Pilot 4, náš posledný participant, sa znalosťami daného simulátora dal zaradiť niekde medzi pilota 3 a skupinu pilotov začiatočníkov. Tomu vypovedajú aj nami namerané hodnoty parasympatika a sympatika a ešte viac utvrdzujú domnienku, že skúsenosti, či už praktické alebo teoretické majú priamy vplyv na úroveň zvýšenia pracovnej záťaže počas nárokov na organizmus.

Pri porovnávaní našich dvoch systémov prístrojového priblíženia sme zistili, že traja piloti, a to číslo 1, 3 a 4 pociťovali vyššiu pracovnú záťaž pri presnom priblížení ILS a len počas merania pilota 2 sa zistila väčšia záťaž a stres pri nie-presnom priblížení NDB. Nedokázali sme odmerať dostatočný počet pilotov na vytvorenie jednoznačného záveru, ale z nami zistených výsledkov sa môžeme nazdávať, že systém ILS je mierne náročnejší na pracovnú záťaž pilota.

Hľadanie progresívnych spôsobov monitorovania a skúmania fyziologických prejavov pilotov nestratilo ani v súčasnosti na význame. Dá sa povedať, že pre zvyšovanie bezpečnosti a odstraňovanie možných chýb je to dnes relevantnejšie ako kedykoľvek predtým. Podobné sledovanie pracovnej záťaže by mohlo viesť k optimalizácii prevádzky, k zdokonaleniu odpočinku, udržiavaniu optimálneho duševného rozpoloženia posádok, a tým prispieť už k spomínanej vyššej bezpečnosti a lepšej celkovej efektívnosti.

Referencie

- [1] BOURGEOIS-BOUGRINE S, CARBON P, GOUNELLE C, MOLLARD R, COBLENTZ A. Perceived fatigue for short- and long-haul flights: a survey of 739 airline pilots. *Aviat Space Environ Med* 2003; 74(10): 1072–7.
- [2] CABON P, COBLENTZ A, MOLLARD R, FOUILLOT JP. Human vigilance in railway and long-haul flight operation. *Ergonomics* 1993; 36(9): 1019–33.
- [3] CABON, P., MOLLARD, R. (2002). "Prise en compte des aspects physiologiques dans la conception et l'évaluation des interactions homme-machine". *L'Ingénierie Cognitive : IHM et Cognition*. / G. Boy dir, Paris : Hermes, strany 99-138.
- [4] CALDWELL J.A. 2005. Fatigue in aviation. In *Travel Medicine and Infectious Disease* [online]. 2005, vol. 3, no. 2 [cit. 2020-02-25]. ISSN 1477-8939.

- [5] GROTZ, M., GROTZ, K., KELLER, L.: Učebnice pilota - svět křídel. Příbram. PBTisk s.r.o., 2011. 716 s. ISBN 978-80-86808-90-1.
- [6] <https://www.kubios.com/hrv-ans-function/>
- [7] <https://www.techmed.sk/vltny-kmity-interval-segmenty-na-ekg/>
- [8] JŮN, F. Učebnica na lety podľa prístrojov. 1. vyd. Bratislava : DOLIS, 2015. 191 s. ISBN 978-80-8181-049-7.
- [9] KANDERA B., ŠKULTÉTY F., MESÁROŠOVÁ K. Consequences of flight crew fatigue on the safety of civil aviation. *Transportation Research Procedia*, 43 (2019), strany 278-289.
- [10] KUBIČKOVÁ, Al., Automatická analýza signálů variability srdečního rytmu [online]. Brno, 2017. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/63848>. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Jiří Kozumplík.
- [11] MOHLER SR. Clinical problems in aviation medicine: fatigue in aviation activities. *Aerosp Med* 1966;37(7): 722–32.
- [12] MRAVEC, B. 2011. Stres a adaptácia. SAP, Bratislava. ISBN 978-80-8095-067-5.
- [13] NOVÁK, A. & MRÁZOVÁ, M., (2015). Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. In: *Communications: scientific letters of the University of Žilina*. - ISSN 1335-4205.- Vol. 17. no. 3 (2015). strany 103-107.
- [14] NOVÁK, A., MRÁZOVÁ, M. 2015a. The effect of physiological stressors on pilot's decision making during unfavourable simulated conditions: An explorative study. In: *Incas Bulletin*. - ISSN 2066-8201. - Vol. 7, iss. 2 (2015), s. 153-162.
- [15] O'DONNELL, R.D., EGGEMEIER, T. F. 1986. Workload assessment methodology. In *Handbook of perception and human performance*. Volume 2, pages 42:1–42:49.
- [16] O'DONNELL, R.D., EGGEMEIER, T. F. 1986. Workload assessment methodology. In *Handbook of perception and human performance*. Volume 2, pages 42:1–42:49.
- [17] OXFORD AVIATION ACADEMY. *Human Performance & Limitations*. Jeppesen GmbH, Frankfurt, Germany, 2001. ISBN 0-88487-285-8.
- [18] OXFORD AVIATION TRAINING. *JAA ATPL Theoretical Knowledge Manual – Navigation 2 (062 Radio Navigation)*. Jeppesen GmbH, Ltd 2001. ISBN 0-88487-288-2.
- [19] ROSEKIND MR, MILLER DL, GREGORY KB, DINGES DF. Crew factors in flight operations XII: a survey of sleep quantity and quality in on-board crew rest facilities. Moffett Field, CA: NASA; 2000. Report No.: NASA/TM-2000-20961.
- [20] WEI, Z., ZHUANG, D., WANYAN, X., LIU, C. and ZHUANG, H., 2014. A model for discrimination and prediction of

mental workload of aircraft cockpit display interface. Chinese Journal of Aeronautics, 27(5), strany 1070-1077.

- [21] WILSON, G. F.: Air-to-ground Training Missions: A Psychophysiological Workload Analysis. Ergonomics 36 (9), strany 1072-1073, 1993.
- [22] 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.
- [23] Kandra, B. 2015. Letecké prístroje. Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-017-6.
- [24] 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
- [25] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [26] Novák, A., Pitor, J. 2011. Flight inspection of instrument landing system. 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 329-332.

LEGISLATIVE FRAMEWORK FOR AN AIRCRAFT MAINTENANCE TECHNICIAN

LEGISLATÍVNY RÁMEC PRE TECHNIKA ÚDRŽBY LIETADIEL

Marek Máčadi
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
marekmacadi@gmail.com

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

Abstract

The purpose of this paper is to create up-to-date aviation legislations study material focused on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks for future students of aircraft maintenance technology at the Air Transport Department, FPEDAS of the University of Žilina. As a relatively new studying programme, it has a lack of study materials in the field of aviation legislation, mainly in the field of aviation maintenance, whether in terms of technical requirements of aircrafts airworthiness or their certification. The first chapter of the paper is focused on a brief acquaintance with the history of aircraft maintenance and procedures applied in aircraft maintenance. We point to the modern history of aircraft maintenance, including EU legislation. In the second chapter, the work focuses on the international legal regulation of this issue as well as on the position of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the European Civil Aviation Safety Agency (EASA) and their activities in this area. In the following chapters, the paper deals with the current regulations of the EU Commission and Parts important not only for aircraft maintenance technicians, but also for training organizations in the field of aviation maintenance. In the end the paper deals with legislation necessary for the certification of an aircraft and requirements that are applied in the operation procedures of any civil aircraft for the purposes of commercial air transport.

Keywords

Aviation Legislation, Air Law, Aircraft Maintenance, conventions, Laws, EU Regulations

1. Úvod

Údržba lietadiel je jednou z najdôležitejších činností, ktoré musia komerčné letecké spoločnosti, ako aj súkromní vlastníci lietadiel pravidelne podstupovať. Pod pojmom údržba lietadiel si predstavíme súbor potrebných opatrení, ktoré zahŕňajú kontrolu, opätovné nastavenie a opravu hlavných komponentov malých, stredných, ale aj veľkých lietadiel. Údržba lietadla je proces, ktorým profesionál – kvalifikovaný Technik údržby lietadiel zjednodušene povedané vykonáva pravidelné kontroly a opravy na komerčných aj civilných lietadlách, aby sa ubezpečil, že sú bezpečné a vhodné na let. Najpodstatnejším dôvodom neustálej údržby lietadla je bezpečnosť osôb nachádzajúcich sa na palube lietadla, najmä cestujúcich. Kvôli komplikovanému mechanickému zloženiu letúna, aj najmenšia porucha môže prerásť do závažného problému, ktorý by mohol dopadnúť katastrofálne. Technici údržby lietadiel preto musia byť adekvátne školení a kvalifikovaní, aby sa minimalizovali šance vzniku porúch na lietadle, udržiavali jeho výkonnostné charakteristiky, prevádzkové náklady a predĺžila jeho celková životnosť.

V tejto bakalárskej práci sa čitateľ dočíta viac o právnej úprave dôležitej pre technika údržby lietadiel. Práca by mala slúžiť ako pomocný študijný materiál z oblasti leteckej legislatívy pre budúcich technikov údržby lietadiel.

2. História leteckého práva

Ako výsledok povojnových rokovaní bol v roku 1944 podpísaný Medzinárodný dohovor o civilnom letectve, ktorý sa bežne označuje ako „Chicagský dohovor z roku 1944“. Tento dokument obsahoval 96 článkov, ktoré položili základ moderného medzinárodného letectva a dali oprávnenie založiť Medzinárodnú organizáciu pre civilné letectvo (ďalej len „ICAO“). Organizácia ICAO bola poverená dohliadať na medzinárodnú spoluprácu v oblasti predpisov, štandardov a postupov upravujúcich civilné letectvo. Sú obsiahnuté v prílohách k dohovoru a v ďalších podrobných doplňujúcich dokumentoch vypracovaných od roku 1944. Jednou z hlavných zásad dohovoru je, že každý štát musí vytvoriť svoju vlastnú vnútroštátnu legislatívu, ktorá do vnútroštátneho práva vnáša normy stanovené ICAO. V niektorých krajinách to tak stále je, ale pre nás v Európskej únii nie je situácia celkom jednoduchá. V prípade EÚ, resp. v minulosti Európskeho spoločenstva to bolo realizované najskôr prostredníctvom Spoločných leteckých úradov (ďalej len „JAA“), ktoré boli neskôr nahradené Európskym úradom pre bezpečnosť civilného letectva alebo skrátené EASA. Výsledkom je, že každý európsky štát podlieha nariadeniam EASA ktoré sa nemusia zhodovať s nariadeniami ICAO, pokiaľ sú požiadavky predpisu ICAO splnené.

3. Úloha Medzinárodnej organizácie civilného letectva

Chicagsky dohovor je rozdelený na štyri časti. V druhej časti tohto dohovoru sú ustanovenia, ktoré tvoria vo svojom súhrne štatút Medzinárodnej organizácie civilného letectva a jej organizačné členenie. Základnou zásadou dohovoru je zásada suverenity deklarujúca úplnú a výlučnú zvrchovanosť nad svojím štátnym územím a zodpovedajúcim vzdušným priestorom. Dohovor ďalej obsahuje normy upravujúce prevádzku pravidelných a nepravidelných letov civilných lietadiel a ďalšie normy upravujúce činnosť medzinárodného civilného letectva. Tento dohovor nájdeme publikovaný v Zbierke zákonov SR pod č. 75/1999 Z.z. Dohovor o medzinárodnom civilnom letectve. Tento dohovor zaručuje slobodu pre lety civilných lietadiel v cudzom vzdušnom priestore a pre pristátie na cudzom území, za predpokladu, že sú splnené štandardy ICAO. Štandardy ICAO sú uvedené v tzv. Annexoch Chicagského dohovoru, ktorých je 19 (Annex 1-19) a spolu s odporúčaniami tvorí tzv. SARPS (Standards and Recommended Practices). Slobody vzduchu sú súborom práv komerčného letectva, ktoré leteckým spoločnostiam krajiny udeľujú oprávnenie vstúpiť a pristáť vo vzdušnom priestore inej krajiny. Boli formulované ako výsledok nezhôd pri rozvoji liberalizácie letectva v Dohovore o medzinárodnom civilnom letectve z roku 1944, známom ako Chicagský dohovor [1].

3.1. Európska agentúra pre bezpečnosť civilného letectva (EASA)

EASA (European Aviation Safety Agency) prevzala všetky právomoci, ktoré mala v minulosti JAA a predpisy JAR pretvára na európske právne predpisy, ktoré sú vydávané formou nariadení a smerníc Európskeho Parlamentu a Komisie. Vznikla 28.9.2003 nariadením Európskeho parlamentu a Rady č. 1592/2002, konkrétne článkom 12, ktorý upravoval činnosť EASA-y, ktorá bola stanovená priamo prostredníctvom orgánov EÚ a hlavným poslaním je propagovať najmä environmentálne a bezpečnostné normy v civilnom letectve. Spolupracuje s podobnými organizáciami nielen v rámci Európy (spolupracuje s ICAO), ale aj s Federálnym úradom pre letectvo (FAA) v USA a ďalšími leteckými úradmi v iných krajinách ako napríklad Kanada, Čína, Rusko alebo Brazília. Predpisy, ktoré EASA vydáva sa označujú PART [2].

Predpisy JAR boli postupne nahradené Nariadeniami Komisie a Smernicami vydávanými agentúrou EASA. Keďže EASA je právny regulačný orgán v Európskej únii jej právne predpisy sú prijímané prostredníctvom Európskej Komisie, Rady a Parlamentu a všetci členovia Európskej únie sú povinní dodržiavať tieto predpisy. Predpisy EÚ majú navyše právnu prioritu pred národnými predpismi, čo znamená, že od 1. mája 2004 je Slovenská republika povinná spĺňať požiadavky, ktoré vyplývajú z týchto predpisov vrátane vykonávacích predpisov a tieto požiadavky boli splnené [6], [7].

4. Nariadenie Komisie (EÚ) č. 1321/2014 o zachovaní letovej spôsobilosti lietadiel, výrobkov, súčastí a zariadení leteckej techniky a o schvaľovaní organizácií a personálu zapojených do týchto činností

Týmto nariadením sa vymedzujú unifikované administratívne postupy a technické požiadavky na zabezpečenie zachovania letovej spôsobilosti lietadiel vrátane akýchkoľvek

namontovaných súčiastok, ktoré sú prihlásené v členskom štáte alebo sú prihlásené v tretej krajine a používané prevádzkovateľom, nad ktorým členský štát zabezpečuje prevádzkový dozor. Nevzťahuje sa na lietadlá, u ktorých bol regulačný dozor nad bezpečnosťou prenesený na tretiu krajinu, a ktoré nepoužíva prevádzkovateľ EÚ alebo na lietadlá uvedené v prílohe II k nariadeniu (ES) č. 216/2008. Ustanovenia tohto nariadenia týkajúce sa komerčnej leteckej dopravy sa uplatňujú na licencovaných leteckých dopravcov tak, ako je definované v právnych predpisoch EÚ.

Toto nariadenie obsahuje štyri prílohy:

Príloha I: časť M - Požiadavky na zachovanie letovej spôsobilosti lietadiel s výnimkou tzv. „ľahkých lietadiel“ za predpokladu, že tieto (ľahké lietadlá) nepoužívajú leteckí dopravcovia licencovaní v súlade s nariadením (ES) č. 1008/2008.

Príloha II: časť 145 - Organizácie údržby – zložené motorové lietadlá a lietadlá v obchodnej prevádzke.

Príloha III: časť 66 - Spôsobilosť technika údržby lietadiel, kategórie preukazov spôsobilosti, klasifikácie, teoretické a praktické požiadavky, skúšky.

Príloha IV: časť 147 - Organizácie pre výcvik a vykonávanie skúšok údržby [3].

5. Príloha III časť 66

Toto nariadenie rozdeľuje technikov údržby lietadiel do troch hlavných kategórií A, B a C, kde kategória B sa ďalej rozdeľuje do kategórií B1, B2 a B3.

- Kategória A -letecký mechanik
- Kategória B1 – letecký technik ktorý je špecializovaný na draky a pohonné jednotky
- Kategória B2 – letecký technik ktorý je špecializovaný na avioniku
- Kategória B3 - osvedčujúci technik údržby pre letúny bez pretlakovej kabíny poháňané piestovým motorom a maximálnou vzletovou hmotnosťou (MTOW) nižšou ako 2 000 kg
- Kategória C - osvedčujúci technik údržby na základni

Vzhľadom na kombinácie letúnov, vrtuľníkov, turbínových a piestových pohonných jednotiek sa kategórie A a B1 ďalej rozdeľujú do podkategórií:

- Letúny poháňané turbínovými motormi A1 a B1.1
- Letúny poháňané piestovými motormi A2 a B1.2
- Vrtuľníky poháňané turbínovými motormi A3 a B1.3
- Vrtuľníky poháňané piestovými motormi. A4 a B1.4

Predpoklady

Minimálny vek žiadateľa je 18 rokov. Toto znamená, že preukaz spôsobilosti môže byť vydaný žiadateľovi v deň jeho osemnástich narodenín, avšak podmienky pre vydanie môže

žiadateľ plniť ešte pred dovŕšením svojich osemnástich narodenín.

Preukaz kategórie A dovoľuje jeho vlastníkovi vydávať osvedčenia o uvoľnení do prevádzky v rozsahu prác uvedených v oprávnení po realizovaní plánovanej traťovej údržby a po odstránení elementárnej vady. Právo osvedčovať sa obmedzuje len na prácu, ktorú majiteľ preukazu spôsobilosti osobne vykonal.

Preukaz kategórie B1 dovoľuje jeho vlastníkovi vydávať osvedčenia o uvoľnení do prevádzky po realizovaní údržby včítane údržby draku, motora a mechanických a elektrických systémov. Medzi práva musí byť zahrnutá aj náhrada vymeniteľných dielov avioniky vyžadujúcich základné testy na preukázanie ich prevádzkyschopnosti. Kategória B1 zahŕňa automaticky aj kategóriu A.

Preukaz kategórie B2 dovoľuje jeho vlastníkovi vydávať osvedčenia o uvoľnení do prevádzky po realizovaní údržby elektrických systémov a avioniky.

Preukaz kategórie C dovoľuje jeho vlastníkovi vydávať osvedčenia o uvoľnení do prevádzky po realizovaní údržby na lietadle na základni. Práva platia pre lietadlo ako celok v organizácii podľa časti 145.

Držiteľ preukazu nemá povolenie vykonávať osvedčovanie pokiaľ nespĺňa dané kritériá časti M alebo časti 145. Neabsolvoval v predošlých dvadsiatich štyroch mesiacoch aspoň šesťmesačnú prax v údržbe lietadiel v súlade s právami udelenými preukazom, alebo nespĺňa ustanovenia na udelenie adekvátnych práv. Prax musí byť preukázateľná. Ak nie je schopný čítať, písať a komunikovať v jazyku, v ktorom je písaná technická dokumentácia a postupy dôležité na podporu vydania osvedčenia o uvoľnení do prevádzky, na zrozumiteľnej úrovni.

Požiadavky na prax

Pre hlavnú kategóriu A a podkategórie B1.2 a B1.4 sú stanovené požiadavky:

- Tridsaťšesť mesiacov praktických skúseností v údržbe prevádzkovaných lietadiel, ak uchádzač nepodstúpil predchádzajúci kompetentný technický výcvik, alebo
- dvadsaťštyri mesiacov praktických skúseností v údržbe prevádzkovaných lietadiel a ukončené odborné vzdelanie technického zamerania považované za relevantné príslušným orgánom, alebo
- dvanásť mesiacov praktických skúseností v údržbe prevádzkovaných lietadiel a ukončený základný kurz výcviku, ktorý bol schválený v súlade s prílohou IV (časť 147).

Pre hlavnú kategóriu B2 a podkategórie B1.1 a B1.3 sú stanovené požiadavky:

- päť rokov praktických skúseností v údržbe prevádzkových lietadiel, ak uchádzač neabsolvoval žiadny predchádzajúci kompetentný technický výcvik, alebo
- Tridsaťšesť mesiacov praktických skúseností v údržbe prevádzkovaných lietadiel a ukončené odborné vzdelanie technického zamerania považované za relevantné príslušným orgánom, alebo

- dvadsaťštyri mesiacov praktických skúseností v údržbe prevádzkovaných lietadiel a ukončený základný kurz výcviku, ktorý bol schválený v súlade s prílohou IV (časť 147).

Pre hlavnú kategóriu C vzhľadom na veľké lietadlá sú stanovené požiadavky:

- Tridsaťšesť mesiacov praktických skúseností vo vykonávaní práv kategórie B1.1, B1.3 alebo B2 na veľkých lietadlách prípadne ako podporný personál podľa časti 145 alebo ich kombináciu alebo
- päť rokov praktických skúseností vo vykonávaní práv kategórie B1.2 alebo B1.4 na veľkých lietadlách prípadne ako podporný personál podľa časti 145 alebo ich kombináciu.

pre hlavnú kategóriu C sú stanovené požiadavky:

- Tridsaťšesť mesiacov praktických skúseností vo vykonávaní práv kategórie B1 alebo B2 na iných ako veľkých lietadlách prípadne ako podporný personál podľa časti 145 alebo ich kombináciou.

Pre hlavnú kategóriu C získanú prostredníctvom akademického titulu sú stanovené požiadavky:

- pre uchádzača, ktorý je držiteľom akademického titulu technického zamerania udeleného univerzitou prípadne inou inštitúciou vysokoškolského vzdelávania uznanou príslušným kompetentným orgánom, Tridsaťšesť mesiacov praktických skúseností v prostredí údržby civilných lietadiel na reprezentatívnom výbere úloh priamo súvisiacich s lietadlovou údržbou vrátane účasti na šesťmesačnom pozorovaní úloh pri údržbe na technickej základni.

Uchádzači o rozšírenie preukazu spôsobilosti musia splniť požiadavky minimálnych praktických skúseností v údržbe civilných lietadiel podľa nasledujúcej tabuľky.

Tabuľka 1: Minimálne požiadavky na prax pre žiadateľov rozšírenia preukazu. Zdroj: NĚMEC, V.2006. Učebné texty dle předpisu JAR-66 Studijný modul 10 letecká legislativa 37s ISBN 80-7204-366-8

Do: Od:	A1	A2	A3	A4	B1.1	B1.2	B1.3	B1.4	B2
A1	/	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	2 roky	6 mesiacov	2 roky	1 rok	2 roky
A2	6 mesiacov	/	6 mesiacov	6 mesiacov	2 roky	6 mesiacov	2 roky	1 rok	2 roky
A3	6 mesiacov	6 mesiacov	/	6 mesiacov	2 roky	1 rok	2 roky	6 mesiacov	2 roky
A4	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	/	2 roky	1 rok	2 roky	6 mesiacov	2 roky
B1.1	žiadna	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	/	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	1 rok
B1.2	6 mesiacov	žiadna	6 mesiacov	6 mesiacov	2 roky	/	2 roky	6 mesiacov	2 roky
B1.3	6 mesiacov	6 mesiacov	žiadna	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	/	6 mesiacov	1 rok
B1.4	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	žiadna	2 roky	6 mesiacov	2 roky	/	2 roky
B2	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	6 mesiacov	1 rok	1 rok	1 rok	1 rok	/

6. Nariadenie Komisie (EÚ) č. 965/2012, ktorým sa ustanovujú technické požiadavky a administratívne postupy týkajúce sa leteckej prevádzky podľa nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008

Prevádzkovatelia a pracovníci, ktorí sa podieľajú na prevádzke niektorých lietadiel, musia spĺňať príslušné základné požiadavky ustanovené v prílohe IV k nariadeniu (ES) č. 216/2008. V nariadení (ES) č. 216/2008 sa vyžaduje, aby členské

štáty okrem kontrol osvedčení, ktoré vydali, viedli vyšetrovania vrátane inšpekcií na odbavovacej ploche a prijali akékoľvek opatrenie vrátane uzemnenia lietadla, aby predišli ďalšiemu porušovaniu. Na zabezpečenie plynulého prechodu a vysokej jednotnej úrovne bezpečnosti civilného letectva v Európskej únii by vykonávacie opatrenia mali odrážať súčasný stav vývoja v oblasti leteckej prevádzky vrátane najlepších postupov a vedeckého a technického pokroku. „Týmto nariadením sa ustanovujú podrobné pravidlá v oblasti prevádzky obchodnej leteckej dopravy letúnov a vrtuľníkov vrátane inšpekcií na odbavovacej ploche lietadiel prevádzkovateľov patriacich pod bezpečnostný dohľad iného štátu, ktoré pristáli na letiskách nachádzajúcich sa v oblastiach, na ktoré sa vzťahujú ustanovenia zmluvy“ [4].

6.1. Spôsobilosť na výkon dohľadu

Členské štáty určujú jeden alebo viac subjektov ako príslušný orgán v rámci daného členského štátu s potrebnými právomocami a vymedzenou zodpovednosťou za osvedčenie osôb a organizácií, ktoré podliehajú nariadeniu (ES) č. 216/2008 a jeho vykonávacím predpisom a za dohľad nad nimi. Ak členský štát určí viac subjektov ako príslušný orgán jednoznačne vymedzí oblasti právomoci každého príslušného orgánu z hľadiska zodpovednosti a geografických obmedzení zavedie koordináciu medzi týmito subjektmi, aby sa zabezpečil účinný dohľad nad všetkými organizáciami a osobami, ktoré podliehajú nariadeniu (ES) č. 2016/2008 a jeho vykonávacím predpisom, v rámci právomoci príslušajúcej týmto orgánom. Členské štáty zabezpečia, aby príslušný orgán (orgány) bol spôsobilý na zaistenie dohľadu nad všetkými osobami a organizáciami, ktoré zahŕňa jeho program dohľadu, vrátane dostatočných zdrojov na splnenie požiadaviek tohto nariadenia. Pracovníci, ktorým príslušný orgán udelil oprávnenie na vykonávanie úloh osvedčovania alebo dohľadu, majú právomoc vykonávať prinajmenšom tieto úlohy:

- kontrolovať záznamy, údaje, postupy a akékoľvek ďalšie materiály potrebné na vykonávanie úlohy osvedčovania a/alebo dohľadu;
- robiť kópie alebo výpisy z takýchto záznamov, údajov, postupov a ďalších materiálov;
- požadovať ústne vysvetlenie na mieste;
- vstupovať do zodpovedajúcich budov, miest prevádzky alebo dopravných prostriedkov;
- vykonávať audity, vyšetrovania, hodnotenia, kontroly vrátane inšpekcií na odbavovacej ploche a neohlásených kontrol;
- v prípade potreby prijímať alebo iniciovať vynučovacie opatrenia.

7. Nariadenie Komisie (EÚ) č. 748/2012 stanovujúce vykonávacie pravidlá osvedčovania letovej spôsobilosti a environmentálneho osvedčovania lietadiel a príslušajúcich výrobkov, častí a zariadení, ako aj osvedčovania projekčných a výrobných organizácií

Toto nariadenie stanovuje spoločné technické požiadavky a administratívne postupy týkajúce sa letovej spôsobilosti a

environmentálneho osvedčovania výrobkov, častí a zariadení, pričom špecifikuje:

- vydávanie typových osvedčení, obmedzených typových osvedčení, doplnkových typových osvedčení, letových povolení a zmeny týchto osvedčení;
- vydávanie osvedčení o letovej spôsobilosti, obmedzených osvedčení o letovej spôsobilosti, letových povolení a autorizovaných osvedčení o uvoľnení;
- vydávanie schválení postupu opravy;
- preukazovanie zhody s požiadavkami ochrany životného prostredia;
- vydávanie hlukových osvedčení;
- identifikáciu výrobkov, častí a zariadení;
- osvedčovanie určitých častí a zariadení;
- osvedčovanie projekčných a výrobných organizácií;
- vydávanie príkazov na zachovanie letovej spôsobilosti [5].

8. ETOPS

Vývoj civilného letectva sprevádzali vždy pochybnosti pri plánovaní diaľkových letov v oblastiach s nedostatočným počtom prijateľných letísk, kde by bolo možné bezpečne vykonať pristátie v prípade náhlej núdzovej situácie. Z tohto dôvodu boli na diaľkové lety nasadzované len letúny s väčším počtom pohonných jednotiek, než dve. Výhodou týchto lietadiel bol fakt, že vysadenie jednej pohonnej jednotky neznamenal taký problém, ako vysadenie pohonnej u dvojmotorových lietadiel. Tieto, viac než dvojmotorové lietadlá mohli s ostávajúcimi pracujúcimi pohonnými jednotkami uspokojivo dokončiť let, alebo doletieť na vhodné náhradné letisko. Situácia sa začala meniť s príchodom spoľahlivých dvojmotorových lietadiel, ktoré mali oveľa nižšie prevádzkové náklady, ale mohli vykonávať lety iba do vzdialenosti jednej hodiny letu od dostupných náhradných letísk. Tento nezvratný ekonomický fakt, a žiadosti prevádzkovateľov, prinútili letecké úrady (FAA, JAA atď.) otvoriť otázku rozšírenia prevádzkových rozsahov dvojmotorových lietadiel. Začali prebiehať náležité kroky, ako vhodne vykonať toto rozšírenie, aby letecká prevádzka i v týchto oblastiach prevádzky zostala bezpečná a aby, ako výrobcovia tak prevádzkovatelia, mohli túto skutočnosť uspokojivo zaručiť. Tak vznikla myšlienka prevádzky ETOPS, teda rozšírenie prevádzkového rozsahu dvojmotorových lietadiel [1].

8.1. Základy ETOPS

V začiatkoch plánovania prevádzky ETOPS sa mohlo povedať, že ETOPS údržba a prevádzkové požiadavky predstavujú „prídavné“ procesy, ktoré prevádzkovateľ musí vykonať, pokiaľ chce získať výhodu v oblasti prevádzky na dlhých linkách s dvojmotorovými lietadlami.

Teraz je ETOPS braný ako samotná formalizácia dobrej údržby a prevádzkových praktík renomovaných leteckých dopravcov po celom svete, ktorou je potreba vykonať, avšak bez „prídavných“ schvaľovacích procesov. Toto tvrdenie nie je myslené pre znižovanie dôrazov prevádzkovateľov na presné dodržiavanie

praktík prevádzky ETOPS, ale k odstráneniu predsudkov a obáv tých prevádzkovateľov, ktorí sa práve snažia o ich prvé ETOPS lety. Pre kompetentných dopravcov je ETOPS iba ľahké zasiahnutie do firemnej politiky a postupov, ktoré už používajú.

Základom je stanoviť si koncept prevádzky, ktorý spočíva v určení nasledujúcich požiadaviek prevádzkovateľa:

- stanoviť trať, na ktorej je požadovaná prevádzka ETOPS, a použiteľnosť oblasti prevádzky s určením adekvátnych letísk, ktoré môžu byť použité ako traťové diverzné letiská,
- stanoviť vhodnú veľkosť kružníc pri nulovom vetre okolo týchto letísk a optimalizovať trať tak, aby bolo celá pokrytá týmito kružnicami,
- stanoviť schválený a udržiavaný typ dvojmotorových lietadiel, ktoré budú na tejto trati prevádzkované.

A nakoniec, stanoviť vhodné množstvo paliva na palube k dokončeniu letu na diverznom letisku z akéhokoľvek bodu na trati a stanoviť traťové záložné letiská pri účinkoch letu a teploty podľa predpovedi počasia pre tieto letiská a túto oblasť prevádzky [1].

8.2. Legislatívny rámec ETOPS

Maximálna vzdialenosť od vhodného letiska pre dvojmotorové letúny bez schválenia ETOPS

Prevádzkovateľ nesmie, pokiaľ to príslušný orgán neschválil, prevádzkovať za štandardných podmienok za bezvetria dvojmotorový letún na trati zahŕňajúcej bod vo vzdialenosti od vhodného letiska väčšej, ako je:

letúnov výkonnostnej triedy A budú:

- s maximálnou schválenou konfiguráciou pre 20 alebo viac cestujúcich, alebo
- s maximálnou vzletovou hmotnosťou 45 360 kg alebo viac,
- vzdialenosť preletená za 60 minút cestovnou rýchlosťou s jedným motorom neschopným prevádzky (OEI) je v súlade s ďalej uvedeným bodom b);

letúnov výkonnostnej triedy A:

- s maximálnou prevádzkovou konfiguráciou sedadiel (MOPSC) pre 19 alebo menej cestujúcich a s maximálnou vzletovou hmotnosťou menej ako 45 360 kg
- vzdialenosť preletená za 120 minút, alebo ak je to schválené príslušným orgánom, pre prúdové letúny až do 180 minút cestovnou rýchlosťou s OEI, ktorá je určená v súlade s ďalej uvedeným bodom b);

v prípade letúnov výkonnostnej triedy B alebo C:

- vzdialenosť preletená za 120 minút cestovnou rýchlosťou s OEI určená v súlade s ďalej uvedeným písmenom b) alebo 300 námorných míľ, podľa toho, ktorá vzdialenosť je menšia

5. Prevádzkovateľ pri výpočte maximálnej vzdialenosti od vhodného letiska stanoví pre každý typ alebo variant prevádzkovaného dvojmotorového letúna rýchlosť neprekračujúcu maximálnu prevádzkovú rýchlosť (V_{MO})

založenú na skutočnej vzdušnej rýchlosti, ktorú môže letún udržiavať s jedným motorom neschopným prevádzky.

6. Prevádzkovateľ musí zabezpečiť, aby v prevádzkovej príručke boli uvedené tieto údaje osobitne vymedzené pre každý typ alebo variant:

- cestovná rýchlosť s jedným nepracujúcim motorom stanovená v súlade s písmenom b) a maximálna vzdialenosť od vhodného letiska stanovená v súlade s písmenami a) a b).

Prevádzkovateľ na získanie súhlasu uvedeného v písmene a) bude 2 poskytnúť dôkaz, že

- kombinácia letúna/motora má schválenú typovú konštrukciu a spoľahlivosť pre prevádzku dvojmotorových letúnov s predĺženým operačným dosahom (ETOPS) na plánovanú prevádzku

- sa zaviedol súbor podmienok na zabezpečenie toho, aby letún a jeho motory podliehali takej údržbe, aby spĺňali kritériá spoľahlivosti, a

- letová posádka a všetci ďalší zainteresovaní prevádzkoví pracovníci sú vyškolení a primerane odborne spôsobilí na vykonávanie plánovaných činností [4].

Povolenie na prevádzku ETOPS

Ak chce získať povolenia od príslušného orgánu musí sa prevádzkovateľ preukázať, že:

- kombinácia letún/pohonnej jednotky je držiteľom povolenia typovej konštrukcie a spoľahlivosti ETOPS pre zamýšľanú prevádzku;

- všetci členovia letovej posádky a ostatní prevádzkoví pracovníci majú primeranú kvalifikáciu na vykonávanie plánovanej prevádzky, ako aj výcvikový program pre členov letovej posádky a všetkých ostatných prevádzkových pracovníkov

- organizácia a prax prevádzkovateľa sú vhodné na podporu naplánovanej prevádzky

- boli zavedené prevádzkové metódy [4].

9. Záver

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvorenie študijného materiálu vhodného pre študentov technológie údržby lietadiel (TÚL) na Fakulte prevádzky ekonomiky dopravy a spojov na Katedre leteckej dopravy. Nedostatok študijných materiálov z oblasti leteckej legislatívy hlavne z oblasti leteckej údržby, či už z pohľadu technických požiadaviek na spôsobilosť lietadiel alebo ich certifikáciu, ktorý by obsahoval leteckú legislatívu pre leteckých technikov v slovenskom jazyku, pre tento pomerne nový študijný odbor bol inšpiráciou pre vytvorenie tejto práce. Zároveň je veľmi dôležité, že práca bola spracovaná komplexne, kedy sa venovala aj histórii údržby lietadiel, ale zároveň definuje súčasnú platnú legislatívu ako aj základné piliere a myšlienky leteckej údržby. Hlavným zámerom práce bolo vytvoriť študijný materiál, ktorý bude pre študentov prínosný a pomôže sa im zorientovať v problematike a získať základné znalosti z tejto oblasti, ktoré budú aj základom pre ich ďalšie vzdelávanie a neskôr tieto znalosti určite využijú aj v praxi.

Referencie

- [1] Učební texty dle předpisu JAR-66 Studijní modul 10 Letecká legislativa Němec, V. (2006). Učební texty dle předpisu JAR-66 Studijní modul 10 Letecká legislativa. Brno: Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. ISBN 80-7204-366-8
- [2] Florin Coman-Kund (2018). [European Union Agencies as Global Actors: A Legal Study of the European Aviation Safety Agency, Frontex and Europol]. Abingdon, Oxfordshire; New York, New York: Routledge. ISBN 9781138293045
- [3] Informácie pre organizácie vykonávajúce údržbu lietadiel, riadenie zachovania letovej spôsobilosti, výcvik a výkon skúšok údržby Zmena nariadenia komisie (EÚ) č. 1321/2014. [online] <http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2020/03/Inform%C3%A1cie-pre-organiz%C3%A1cie_zmena-1321_2014-final.pdf>
- [4] Nariadenie Komisie (EÚ) č. 965/2012 z 5. októbra 2012 , ktorým sa ustanovujú technické požiadavky a administratívne postupy týkajúce sa leteckej prevádzky podľa nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 [online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?uri=celex%3A32012R0965>
- [5] Nariadenie Komisie (EÚ) č. 748/2012 z 3. augusta 2012 stanovujúce vykonávacie pravidlá osvedčovania letovej spôsobilosti a environmentálneho osvedčovania lietadiel a príslúchajúcich výrobkov, častí a zariadení, ako aj osvedčovania projekčných a výrobných organizácií [online].
- [6] Novák, A., Novák Sedlačková, A. 2010. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilina EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2010. 125 s. ISBN 978-80-87284-05-6
- [7] 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.

Marek Máčadi – narodený 23.04.1998 v Banskej Bystrici absolvoval v roku 2017 Gymnázium A. Sládkoviča v Banskej Bystrici, v období 2017-2018 pracoval v Dánsku na osobnom rozvoji, následne od roku 2018 študoval na Žilinskej univerzite v Žiline odbor letecká doprava. Email:marekmacadi@gmail.com

POSSIBLE MODIFICATIONS OF THE AUTOMOBILE PISTON PETROL ENGINE FOR AIRCRAFT PROPULSION: COOLING, STARTING AND IGNITION SYSTEM

MOŽNOSTI ÚPRAVY AUTOMOBILOVÉHO PIESTOVÉHO ZÁŽIHOVÉHO MOTORA PRE POHON LETÚNOV: CHLADIACA, SPÚŠŤACIA A ZAPAĽOVACIA SÚSTAVA

Zuzana Malíková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Malikova22@stud.uniza.sk

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

The main goal of our work was to design a possible modification of the automobile piston petrol engine for aircraft propulsion and subsequently its implementation. The paper can be divided into four main units. The first part is aimed on the history and development of automobile and aircraft piston engines. We focused on their construction and gradual improvement of performance. The second unit is dedicated to theoretical knowledge of the cooling, starting and ignition systems. In the cooling system, we mainly described air cooling and the required components needed for that process. In the starting system, we paid attention to the necessity of starting gears, their types and uses. We described mainly electric starters and then we attached a diagram of the starting system. In the ignition system, we described the structural elements required for the process of igniting a mixture of fuel and air. In the following section, we described the engine used for aeroconversion, its parameters and the reason for its selection. In the last part we deal with the practical part of the paper. We created the component models needed for the complete construction of these systems, which were created in the computer program Autodesk Inventor Professional 2021. We prepared the cooling system for more efficient air cooling by adding deflectors, in the starting system we used a starter with a reducer to increase torque and reduce fuel consumption and in the ignition system, we proposed a modification of the flywheel made of dural material, which would reduce the overall weight of the engine. The result of our work is a finished design for aeroconversion of a flat four-cylinder engine. The modified engine is suitable for ultralight aircraft.

Keywords

Piston engine, Cooling system, Starting system, Ignition system, Conversion

1. Úvod

Ľudia už od dávnych čias snívajú o lietaní. Prvé pokusy o lietanie dopadli neúspešne. Hlavným dôvodom neúspechu bol nedostatok technológie potrebnej na dodávku dostatočného množstva mechanickej energie, ktorá by udržala letún vo vzduchu. Prvé letecké motory sa vyrábali na princípe konštrukcie staršieho spaľovacieho motora. V 19. storočí začala produkcia niekoľkých úspešných motorov vhodných do automobilov či prvých letúnov. Zlyhania motorov boli dôsledkom zlej konštrukcie a použitých materiálov, ktoré nevydržali prevádzkové podmienky, vysokých prevádzkových nákladov a nadmernej hmotnosti konštrukcie v pomere k výkonu.

Naším cieľom bakalárskej práce je konverzia automobilového motora, ktorý by bol vhodný do ultraľahkého lietadla. S tým súvisí potreba zvýšenia výkonu a zníženia hmotnosti upravovaného motora.

Dôležitosť motorov je zrejme každému jasná. Bez funkčného motora sa ďaleko nedostaneme. Motor pripomína mozog dopravných prostriedkov. Obsahuje všetku potrebnú energiu, ktorá pomáha nášmu dopravnému prostriedku fungovať.

Automobilový motor bol už niekoľkokrát vo svete použitý ako vhodná alternatíva štandardného leteckého motora v

experimentálnom letúni. Medzi vhodné náhrady patrí výrobca Volkswagen, ktorého motor z automobilu Beetle sú slávnou voľbou pri stavbe amatérskych lietadiel. Hlavnou výhodou je chladiaci systém, ktorý využíva chladenie pomocou samotného prúdiaceho vzduchu a konštrukcia motora, ktorá pripomína letecké motory od výrobcu Lycoming alebo Continental.

Bakalárska práca je zameraná na teoretické poznatky, návrh a zostrojenie chladiacej, spúšťacej a zapaľovacej sústavy piestového, štvorvalcového motora typu boxer. Cieľom je zlepšenie účinnosti chladenia, zredukovanie hmotnosti a zlepšenie výkonu. Pri navrhovaní súčiastok sme pracovali s programom Autodesk Inventor Professional 2021, kde sme dané komponenty namodelovali podľa presných parametrov. V budúcnosti bude uskutočnené zrealizovanie našich plánov, praktické použitie opísaných konštrukčných častí a následne otestovanie, či nami navrhnuté sústavy motora budú funkčné.

2. Výber motora vhodného na konverziu

V dnešnej dobe existuje mnoho úspešných konverzií automobilového motoru použitého v letúni, ktoré sú pre bežné používanie dostačujúce. Príkladom sú motory od výrobcov Subaru, Mazda, Suzuki. Avšak slabými stránkami týchto výrobcov je finančná náročnosť a pomer hmotnosti k výkonu. Tieto motory taktiež nie sú najvhodnejšie pre ich nízky krútiaci moment a vysoké otáčky, ktoré sa musia zredukovať, čo prináša váhu navyše a ďalšie konštrukčné problémy [1].

V našej práci sme uvažovali o úprave automobilového plochého motora, ktorý by bol vhodný na použitie do ultraľahkého letúna. Medzi prvými vyrábanými automobilmi s plochým motorom bol Volkswagen Beetle. Motory od výrobcu Volkswagen patria medzi najobľúbenejšie, z pohľadu množstva použitých v prevádzke, pre využitie v automobiloch či letúnoch. Hlavným dôvodom jeho popularity je usporiadanie motora, ktoré je veľmi podobné motorom od výrobcov Lycoming a Continental. Tieto motory sú vzduchom chladené štvorvalce a patria medzi štandardy malých letúnov [2].



Obrázok 1: Plochý motor od výrobcu Volkswagen. Zdroj: [3].

Motor typu boxer je plochý motor s protiľahlými valcami na každej strane rotujúceho kľukového hriadeľa. Piesty sa pohybujú súčasne dovnútra a von, a tým navzájom vyvažujú svoj pohyb vo valcoch. Vďaka tomuto vyváženiu nepotrebujú prídavné vyvažovacie hriadele, a teda celková hmotnosť motora je menšia [4] [5].

Tento vzduchom chladený štvorvalec je výhodný hlavne vďaka tomu, že nevyžaduje na použitie vrtule redukčnú jednotku, ktorá je technicky zložitá a finančne nákladná. Pôvodný motor s obsahom 1600 cc a výkonom 42 kW bol prerobený pomocou prestavbového kitu na obsah motora 1835 cc. Zdvih valca sa zväčšil na 92 mm, čím sa zvýšil výkon na 48 kW [6].

Rozhodujúcimi faktormi pre výber vhodného motora na aerokonverziu bola hmotnosť suchého motora, ktorá je v našom prípade 72 kg, výkon motora, usporiadanie motora, cenová dostupnosť a spoľahlivosť. Konkrétny motor možno použiť pre ultraľahké lietadlá.

3. Úprava automobilového motora pre pohon letúnov

Pre správne fungovanie automobilového motoru v letúni budú potrebné úpravy jednotlivých sústav. Navrhnuté 3D dizajny

súčiastok sú namodelované v programe Autodesk Inventor Professional 2021.

3.1. Chladiaca sústava

Hlavnou výhodou, prečo sme sa rozhodli použiť motor s týmto typom chladenia je jeho jednoduchosť. Skutočnosť, že nepotrebuje žiadny chladič či chladiacu kvapalinu znamená, že cena je udržiavaná na nízkej úrovni a celkové rozmery motora sú menšie. To vzájomne súvisí s hmotnosťou motora, ktorá je veľmi dôležitá pre použitie v letúni. Neprítomnosť mnohých komponentov pre chladenie vodou nám umožnilo túto hmotnosť zredukovať, ako aj fakt, že konštrukcia motora je z veľkej väčšiny vyrobená z ľahkých zliatin namiesto ocele. Priemerný vzduchom chladený motor váži o 13 kg na liter menej ako vodou chladený motor [7].

Chladenie vzduchom zabezpečuje prúd vzduchu, ktorý odvádza teplo z motora [16]. Časti motora, ktoré sa ochladzujú musia mať čo najväčšiu plochu. Tá sa zabezpečí chladiacimi rebrami.

Rebrá sú umiestnené na vonkajšom povrchu valca motora ako ich súčasť a sú teda vyrobené z rovnakého materiálu ako samotný valec, teda liatinové. Veľkosť rebier sa pri výrobe musí starostlivo vypočítať, aby sa zabezpečilo, že motor beží pri efektívnej pracovnej teplote. Tvar rebier je rovnako dôležitý ako ich veľkosť. Rebrá majú rovné strany so zaobleným vonkajším hrotom. Aby boli rebrá účinné, musia mať určitý stupeň zúženia a primerane ostrý hrot. Motory od výrobcu Volkswagen, ktoré boli použité v automobiloch Beetle, majú sériu starostlivo umiestnených usmerňovačov, ktoré smerujú vzduch k najhorúcejším častiam motora. V našom prípade nie je potrebné ani použitie ventilátora pre väčší prísun studeného vzduchu. Pri použití motora do letúňa nám postačí náporový vzduch, ktorý motor dostatočne ochladí [2] [7] [17].

Prúd vzduchu, ktorý prúdi cez rebrá absorbuje prebytočné teplo a odovzdáva ho do atmosféry. Pre lepšie usmernenie tohto vzduchu sme pridalí deflektory okolo valcov a celého motora.

Deflektory usmerňujú vzduch tak, aby sa dosiahol maximálny chladiaci účinok. Vyrobené sú z hliníkového plechu a pri ich montáži je potrebné venovať pozornosť tomu, aby boli umiestnené okolo valcov správne. Prípadne poškodenie deflektorov môže mať za následok vznik horúceho miesta, čo môže spôsobiť poruchu motora [2].



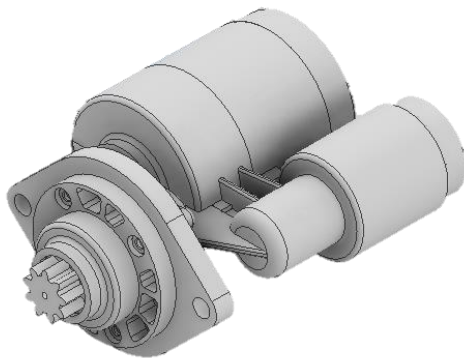
Obrázok 2: Pripevnené deflektory na motore. Zdroj: Autori.

Pre lepšiu reguláciu teploty motora bude potrebná dodatočná montáž vzduchovej klapky pod motorom konštrukcie letúňa. Keď sa klapka otvorí, zvýši sa prietok vzduchu motorovým priestorom a tým sa zníži teplota hlavy motora. Vzduchová klapka môže byť otvorená čiastočne alebo úplne, avšak jej otvorenie nebude mať negatívny vplyv na výkon motora.

3.2. Spúšťacia sústava

Pri spúšťacej sústave sme uvažovali o viacerých možnostiach úpravy. Prvou a najzásadnejšou je zmena spúšťača. Pôvodný spúšťač použitý v automobile Volkswagen Beetle sme nahradili spúšťačom z automobilu Škoda Felícia. Jeho hlavnou výhodou je konštrukcia s reduktorom, ktorý zabezpečí otáčanie pastorkom prevodom 4:1 v porovnaní so spúšťača bez redukcie, ktorý otáča pastorkom rýchlosťou 1:1. Vyšší prevod znamená vyšší krútiaci moment a úsporu príkonu spúšťača [8].

Aj napriek tomu, že spúšťač s redukciami je konštrukčne zložitejší, teda cenovo drahší, je menší, ľahší a efektívnejší. V niektorých prípadoch môže spúšťač bez reduktora vážiť až dvakrát viac ako porovnateľná jednotka s reduktorom. To predstavuje značnú výhodu v pomere výkon/krútiaci moment k hmotnosti, ale taktiež to znamená, že sú fyzicky menšie a často krát sa ľahšie inštalujú [8].



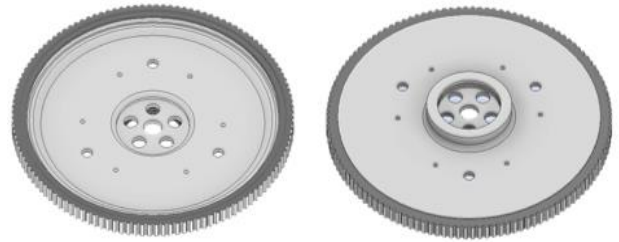
Obrázok 3: Spúšťač z automobilu Škoda Felícia. Zdroj: Autori.

Spúšťače bez reduktora potrebujú na spustenie motora až o 50% viac elektrickej energie ako spúšťače s reduktorom. To znamená, že použitie spúšťača bez reduktora vyžaduje hrubšie káble od akumulátora a ďalšie komponenty musia byť spojené tak, aby zvládli väčší prúd [9].

Celková hmotnosť spúšťača je 2,456 kg a plocha, ktorú zaberie je 0,0843 m².

Vonkajšie puzdro spúšťača je vyrobené z hliníka, ktorý poskytuje stabilitu konštrukcie. Pri jeho tepelnej vodivosti 237 W*m⁻¹*K⁻¹ plní taktiež úlohu odvádzania tepla ako dobrý tepelný vodič. Hliník predstavuje 20-25% hmotnosti spúšťača [10].

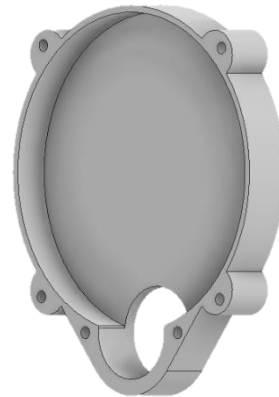
Druhou zmenou, ktorú sme vykonali pri úprave spúšťacej sústavy je zmena materiálu zotrvačníka. Zvyčajne sú vyrobené z ocele, ktorá má hustotu 7,850 g/cm³. Objem oceľového zotrvačníka je 339731.314 mm³ a teda jeho hmotnosť je 2,667 kg. Na zredukovanie hmotnosti použijeme ako materiál dural. Hustota duralu je 2,800 g/cm³ a teda pri rovnakom objeme bude konečná hmotnosť len 0,951 kg. Výsledný rozdiel hmotností



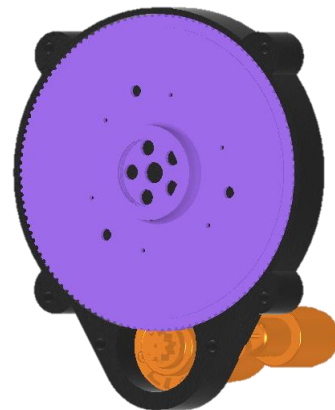
Obrázok 4: Zotrvačník. Zdroj: Autori.

bude 1,716 kg. Priemer zotrvačníka je 0,26 m s počtom zubov 126 a celkovou plochou 0,13 m².

Pre ochranu a bezpečnosť zotrvačníka bol zakázavo odliaty kryt z hliníka, ktorý je umiestnený na zotrvačníku a prichytený na zadnej strane motora. V spodnej časti krytu je priestor pre uloženie spúšťača. Na obrázku č. 6 možno vidieť namodelovanú sústavu prevodu zotrvačníka s pastorkom spúšťača.



Obrázok 5: Kryt pre zotrvačník. Zdroj: Autori.



Obrázok 6: Sústava zotrvačníka, krytu na zotrvačníku a spúšťača.

Zdroj: Autori.

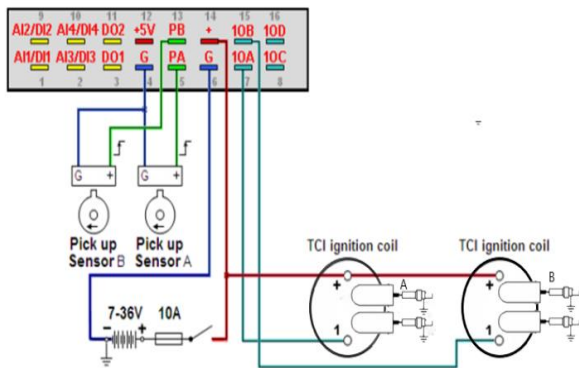
3.3. Zapaľovacia sústava

V poslednej upravovanej sústave našej práce sme zmenili zapaľovanie z pôvodného batériového, na plne elektronické zapaľovanie. Hlavným dôvodom, pre zmenu tohto zapaľovania je zmenšenie spotreby, synchronizácia chodu motora a zväčšenie výkonu motora. Presná a okamžitá reakcia systému

elektronického zapalovania na akúkoľvek zmenu chodu motora má za následok stabilné otáčky a nižšiu spotrebu paliva.

Primárnym komponentom, ktorý nám zabezpečí tieto výhody je elektronická jednotka riadenia motora (ECU). Širokospektrálnu jednotku ECU MASTER Map Sensor sme vybrali od spoločnosti IMFsoft, ktorá je navrhnutá aj pre riadenie predstihu a zapalovania. Verzia MAP Sensor poskytuje pripojenie integrovaného snímača podtlaku sania. Sleduje veľkosť tlaku v sacom potrubí, ktorý kolíše podľa zaťaženia motora a na základe tohto merania poskytuje informácie riadiacej jednotke motora. ECU riadi všetky aspekty motora a môže rozhodovať aj o množstve paliva, ktoré vstrekuje do vstupných portov, ako aj o presnom načasovaní predstihu zapalovania. Jednotka motora taktiež ovláda všetky podstatné funkcie agregátu s ohľadom na príslušné zaťaženie, v závislosti od všetkých okolitých parametrov, ako napríklad tlak vzduchu v sacom potrubí, vonkajšia teplota, teplota motora, teplota oleja a iné. Získané údaje sú spracované pomocou programu uloženom v pamäti a následne sa vydajú príkazy pre vstrekovanie a zapalovanie. [11] [12].

Technológia FPGA vďaka svojmu operačnému výkonu a presnosti zabezpečuje digitálno-analógový prevod, vyhodnocuje a vypočítava signály snímačov do matematického modelu reálneho otáčania motora. Jednotka obsahuje 4 výstupy TCI, kde dva slúžia na ovládanie zapalovania a dva na ovládanie vstrekovania. Riadiacu jednotku sme uložili mimo motora, kde by ju vysoká pracovná teplota motora mohla poškodiť [12]



Obrázok 7: Schéma zapojenia ECU s dvomi výstupmi pre indukčné cievky. Zdroj: [15], upravil autor.

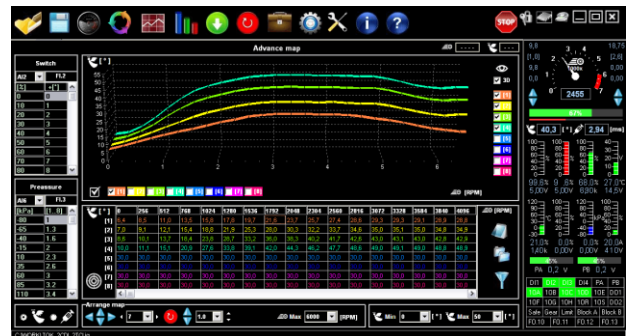
V znázornenej schéme sú zapojené dva snímače, ktoré sú spojené s nízkonapäťovým zväzkom. Nízkonapäťový zväzok prenáša vstupy snímačov do ECU cez 16-pólový konektor.

Zobrazený snímač A je hallov snímač otáčok zapojený do konektora PA a do uzemnenia (G). Snímač vytvára elektrický signál, ktorý vedie do elektronickej riadiacej jednotky. Zároveň vysiela signál na generovanie prúdu potrebného na vytvorenie zapalovacej iskry v sviečkach. Snímač určí hornú úroveň prvého valca, podľa ktorého ECU zistí, že má dôjsť k zapáleniu prvého a štvrtého valca. Akonáhle mikropočítač zareaguje na zmenu otočenia kľukového hriadeľa o 180° zariadi zapálenie druhého a tretieho valca pomocou druhej zapalovacej cievky. Vďaka tejto synchronizácii sa zabezpečuje, že pri prípadnej poruche nedôjde k výpadku poradia zapalovania [13].

Snímač B je snímač polohy škrtiacej klapky, ktorý je zapojený do konektora PB a do uzemnenia. Snímač reaguje na pootočenie

škrtiacej klapky. Ak sa otočí, snímač sa otočí s ňou. Pootočením sa zmení elektrický odpor, ktorý zaznamená riadiaca jednotka a vypočíta potrebné množstvo dávkovaného paliva. Je pripojený kontaktnou svorkou priamo na škrtiacej klapke [14].

Mapy predstihu dávajú k dispozícii rýchly nástroj pre zobrazovanie a tvarovanie kriviek predstihu zapalovania [1] – [8]. Zadaná hodnota pôsobí na okamih spínania výstupov 10A až 10H. Použitím digitálnych (DI1, DI2) alebo analógových vstupov (AI1, AI2, PA, PB) možno mapy prepínať podľa prevádzky. Signál z analógového snímača, napríklad zo snímača otáčok, by mal byť vedený tieneným káblom, ktorý pomáha k eliminovaniu rušenia. Mapy možno vykresliť podľa zadaných bodov, taktiež je dostupná priama úprava mapy ťahom myši. Mapy je možné kopírovať jednu do druhej podľa vlastnej voľby [15].



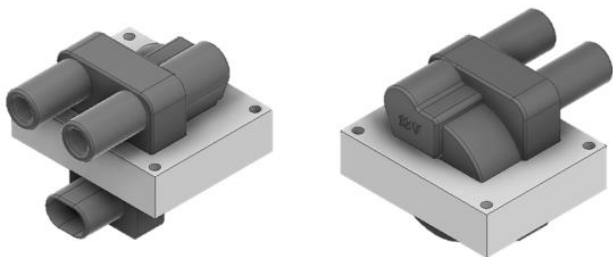
Obrázok 8: Mapa predstihu. Zdroj: Autori.

Ďalším potrebným komponentom v zapalovacej sústave je zapalovacia sviečka. Tým, že zasahuje do spaľovacieho priestoru motora, musí byť schopná zvládnuť veľké teplotné spády. Teploty sa striedajú od 60 do 2000 až 2500°C. Použité materiály musia odolávať chemicky agresívnemu prostrediu a izolátor musí znášať napäťové rázy až 25 kV bez poškodenia. Kvôli použitému materiálu a technológiám, ktoré dokážu dodržať deklarované parametre sviečok aj v extrémnych podmienkach sme sa rozhodli nahradiť originálnu zapalovaciu sviečku pre automobil Volkswagen Beetle od značky Bosch, konkrétne model Bosch W8A, vhodnejším modelom od firmy NGK Spark Plug Co. LTD.

Vhodnými alternatívami od výrobcu NGK sú napríklad NGK 4210, NGK B5HS alebo NGK B5HS-15.

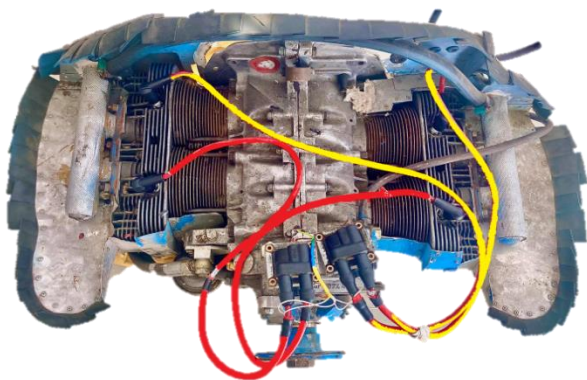
V našej konverzii motora sme použili zapalovaciu sviečku NGK 4210, kvôli jej polohe iskrišťa, ktoré je 1,0 mm. Menšia medzera spôsobí krátku, intenzívnu iskru. Dĺžka závitú je 12,7 mm a vonkajší závit má 14,0 mm. Elektróda je vyrobená zo špeciálnej niklovej zliatiny, ktorá má vysokú tepelnú vodivosť a zároveň má vysokú odolnosť voči agresívnemu prostrediu.

Vysokonapäťovú cievku sme použili z automobilu Fiat Punto. Hlavnou výhodou použitia tejto cievky je fakt, že nie je potrebný rozdeľovač a zároveň jedna cievka postačí na dva valce motora. Taktiež je pomerne ľahká a malá. Cievku sme spojili s vysokonapäťovým zväzkom a pripojili pomocou koncovky zapalovacích káblov na sviečku.



Obrázok 9: Vysokonapäťové cievky z automobilu Fiat Punto.
Zdroj: Autori.

Použitá cievka je dvojskrová, to znamená vygenerovanie dvoch iskier v rovnakom čase do dvoch sviečok a obsluhuje dvoch pracovných valcov motora. Valce pracujú s fázovým posunutím jednej otáčky kľukového hriadeľa. Vo valci, ktorý je v hornej úvratí na konci kompresného zdvihu iskra zapáli zmes. V druhom valci, ktorý je na konci expanzného zdvihu iskra pôsobí v prúde spalín, kvôli dôkladnému prípadnému dohoreniu nespáleného paliva a nižším emisiám.



Obrázok 10: Zapojenie vysokonapäťových cievok so sviečkami.
Zdroj: Autori.

Pri úvahe duálneho zapalovania do budúcnosti, ktoré by zlepšilo spaľovanie a znížilo emisie by bol potrebný zásah do samotnej konštrukcie pracovného valca motora. Z teoretického hľadiska by sa druhá zapalovacia sviečka mohla umiestniť vedľa prvej, pôvodnej sviečky. Obe sviečky by boli spojené vysokonapäťovým zväzkom a následne zapojené do cievky. Pri zachovaní rovnakého druhu vysokonapäťovej cievky, by sme potrebovali dvojnásobný počet zapalovacích cievok, no splnili by sme podmienku zálohovania zapalovacej sústavy.

4. Záver

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnuť chladiacu, spúšťaciu a zapalovaciu sústavu pre experimentálny piestový motor z automobilu Volkswagen Beetle. Zhrnuli sme potrebné teoretické poznatky pre konkrétnu úpravu, ktoré neskôr využijeme pri praktickej časti úpravy zadaných sústav.

Do chladiacej sústavy sme pridali deflektory, ktoré usmernia chladiaci vzduch priamo cez rebrá valcov motora a rýchlejšie odvedú zohriaty vzduch do atmosféry.

V spúšťacej sústave sme navrhli cez počítačový softvér pre 3D modelovanie vhodný spúšťač pre daný motor, ktorý bol použitý

v automobile Škoda Felícia. Vďaka jeho parametrom a nízkej hmotnosti sa dokonale hodil do našej konverzie. Ďalšou modelovanou súčiastkou bol zotrvačník, ktorého hmotnosť sme znížili vyrobením z iného materiálu, konkrétne z duralu. Spolu s modelom krytu pre zotrvačník sme získali návrh spúšťacej sústavy s názorným ukázaním záberu výsuvného pastorku spúšťača so zotrvačníkom.

Do zapalovacej sústavy sme navrhli dať zapalovacie sviečky značky NGK, ktoré vydržia o niekoľko letových hodín viac v prevádzke ako pôvodné sviečky značky Bosch. Do budúcnosti navrhujeme použitie irídiových sviečok značky Denso, ktoré dokonale spália celý obsah pracovného valca motora a zároveň majú dlhšiu životnosť. Zapalovaciu cievku sme použili z automobilu Fiat Punto, je dvojskrová a výhodná z pohľadu rozmerov a hmotnosti. V poslednej časti sme zapalovacie cievky spojili vysokonapäťovým zväzkom káblov so sviečkami. Pri ďalšej možnej úprave nášho motora by sme uvažovali nad použitím duálneho zapalovania, ktoré by nateraz malo príliš veľký zásah do konštrukcie motora.

Referencie

- [1] AEROWEB. 2012 *Vyrábíme letecký motor*. [online]. [cit. 29.4.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.aeroweb.cz/clanky/serialy/vyrabime-letecky-motor>>
- [2] WILD, T – KROES, M. 2013. *Aircraft powerplants*. 8. vyd. United States of America: McGraw-Hill Education, 2013. 768 s. ISBN: 978-0-07-179913-3.
- [3] DUBPARTS. *VW Aircooled engine and related items*. [online]. [cit. 29.4.2021]. Dostupné na internete: <https://www.dubparts.com/collections/vw-aircooled-engine-related-items?page=2&utm_source=pinterest&utm_medium=social>
- [4] THEDRIVE. 2020 *What is a Boxer engine?*. [online]. [cit. 12.3.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.thedrive.com/cars-101/37710/boxer-engine>>
- [5] AUTOBILD. 2012 *Motory boxer: Boxujúce motory ešte žijú*. [online]. [cit. 12.3.2021]. Dostupné na internete: <<https://autobild.pluska.sk/poradca/motory-boxer-boxujuce-motory-este-ziju>>
- [6] GREATPLAINSAS. *Great plains aircraft*. [online]. [cit. 20.4.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.greatplainsas.com/pg/7-About-Us.aspx>>
- [7] UNIQUECARSANDPARTS. *How it Works: Air-Cooled Engine*. [online]. [cit. 1.5.2021]. Dostupné na internete: <https://www.uniquecarsandparts.com.au/how_it_works_air_cooled_engine>
- [8] ELREG. *Direct drive vs gear reduction starters*. [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.elreg.com/blog/direct-drive-vs-gear-reduction-starters/>>

- [9] ELREG. *Why are gear reduction starters replacing direct drive starters?* [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.elreg.com/blog/why-are-gear-reduction-starters-replacing-direct-drive-starters/>>
- [10] SAE. *2017 Starter motor light weighting through use of alternate materials.* [online]. [cit. 4.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2017-28-1967/>>
- [11] AUTORUBIK 2013. *Riadiaca jednotka (ECU) – poruchy a kabeláž vozidla.* [online]. [cit. 7.5.2021]. Dostupné na internete: <<http://www.autorubik.sk/clanky/co-je-to-riadiaca-jednotka-motora-alebo-motor-manazment/>>
- [12] IMFSOFT. *ECU Master.* [online]. [cit. 7.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://imfsoft.com/kategorie-ridici-jednotky/ecu-master#toc-specification>>
- [13] HROMÁDKO, J. a kol. 2011. *Spalovací motory.* 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2011. 296 s. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [14] AUTODIELYONLINE24. *Snímač polohy škrtiacej klapky.* [online]. [cit. 17.5.2021]. Dostupné na internete: <<https://www.autodielyonline24.sk/nahradne-diely/snimac-polohy-zkrtiacej-klapky.html>>
- [15] IMFSOFT 2017. *ECU MASTER CDI – TCI scheme and configuration.* [online]. [cit. 13.5.2021]. Dostupné na internete: https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf
- [16] Bugaj, M. 2015. *Aeromechanika 1: základy aerodynamiky.* 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.
- [17] Bugaj, M., Novák, A. 2010. *Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy.* 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

Zuzana Malíková – narodená dňa 16.09.1998 v Žiline. V roku 2018 absolvovala Gymnázium v Bytči a následne nastúpila na Katedru leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline.

METEOROLOGICAL SATELLITE AS AN IMPORTANT SOURCE OF METEOROLOGICAL INFORMATION FOR AVIATION

METEOROLOGICKÁ DRUŽICA AKO VÝZNAMNÝ ZDROJ METEOROLOGICKÝCH INFORMÁCIÍ PRE LETECTVO

Nikola Mihalčinová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mihalcinovan@gmail.com

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

Abstract

This paper is focused on the use of information provided from meteorological satellites in air transport, its development and current status. The work defines general knowledge in the field of meteorology such as the history of meteorological satellites, the division of orbits and current meteorological satellites in orbits. The work also includes the characteristics of measured quantities and monitoring methods. The practical contribution of this work is the analysis of satellite images in Europe. Finally, the work deals with the future use of meteorological satellites and the development of new satellites.

Keywords

Meteorological Satellite, Weather Prediction, Meteorological Observation, Remote Sensing

1. Úvod

V dnešnej dobe sú družice využívané pre neskutočné množstvo využiteľných informácií. Prvou umelou družicou Zeme bol Sputnik 1, ktorý bol vypustený do vesmíru v roku 1957. Dnes už je na obežnej dráhe nespočetné množstvo umelých družíc od rôznych spoločností alebo národov. Družica, satelit alebo obežnica je astronomické teleso obiehajúce okolo centrálného astronomického telesa. Tieto zariadenia využívajú súkromné spoločnosti, nadnárodné korporácie a štáty na získavanie rozličných informácií dôležitých pre chod každodenného života. Taktiež podľa typu získaných dát sa družice využívajú na účely vedecké, navigačné, vojenské, špionážne, rádioamatérske, telekomunikačné a meteorologické. Táto práca bude opisovať dôležitý význam družice ako zdroj meteorologických informácií, ktoré poskytuje pre letectvo ako informácie o počasi, monitorovanie oblačnosti, meranie tlaku, rýchlosť vetra atď.

Družicové merania a pozorovania predstavujú v súčasnej dobe zdroj nezastupiteľných informácií, ktoré vytvárajú tzv. svetový meteorologický kozmický systém. Ten pozostáva z dvoch čiastkových subsystémov, a to kozmickým a pozemným. Kozmický podsystém zahŕňa súbor umelých družíc určených na monitorovanie Zeme a atmosféry. Pozemný podsystém slúži na príjem a spracovávanie meteorologických informácií. Analogicky je tak súčasťou systému diaľkového prieskumu Zeme. V súčasnej dobe disponujú štáty rôznymi systémami družíc ako navigačné (navigácia lodí, lietadiel), lokalizačné (určovanie polohy, smeru pohybu, rýchlosti), telekomunikačné (prenos TV signálu), výskumné (geologicko-geografické prieskumy, diaľkové prieskumy Zeme, výskumy planét, hviezd, geodetické výskumy)

vojenské (navigačné, komunikačné, výstražné, výzvedné), a meteorologické (predpoveď počasia a sledovanie hurikánov).

2. História meteorologických družíc

Prvou meteorologickou družicou sa stala družica Vanguard 2, ktorá bola na obežnú dráhu vypustená 17. februára 1959. Mala tvar gule z hliníka s priemerom 508 mm a váhou 10 kg. Na jej povrchu boli štyri antény a vo vnútri sa nachádzali dva teleskopy na meranie osvetlenia zemského povrchu, rádio vysielateľ, chemické batérie, magnetopáskový dátový záznamník a potrebná elektronika. Táto družica však nedosiahla určenú výšku na obežnej dráhe, a preto jej údaje nemohli byť pre technické chyby ďalej spracovávané. [1]

Za prvú úspešnú meteorologickú družicu je považovaná TIROS-1 z programu Television Infrared Observation Satellite (TIROS), ktorá je zobrazená na Obr. č. 1. Na obežnú dráhu bola vynesená dňa 1. apríla 1960 raketou Thor Able z mysu Canaveral na Floride. Bez ohľadu na to, že bola v prevádzke len 78 dní, tak podala omnoho viac dát ako bolo získané z Vanguard 2 a dokázala, že meteorologické družice majú veľký význam pre prácu meteorológov. TIROS-1 môžeme považovať za predchodcu súčasných moderných družíc. Družica mala výšku 48 cm, priemer 106 cm a váhu 120 kg. Jej telo bolo zložené z hliníkovej zliatiny a nehrdzavejúcej ocele. [2]

3. Typy obežných dráh

V súčasnosti existuje veľa satelitov operujúcich okolo Zeme na rôznych obežných dráhach a každý satelit je dôležitý z rôznych dôvodov. Po štarte je satelit alebo kozmická loď zvyčajne

umiestnená na jednej z niekoľkých konkrétnych dráh okolo Zeme alebo môže byť vyslaná na medziplanetárnu cestu, čo znamená, že už neobieha okolo Zeme, ale obieha okolo Slnka, až kým nedosiahne svoje konečné miesto určenia, napr. Mars alebo Jupiter. Existuje veľa faktorov, ktoré určujú, ktorá obežná dráha je pre satelit najlepšia v závislosti od účelu satelitu.

3.1. Vysoká obežná dráha

Keď satelit dosiahne výšku viac ako 36 000 kilometrov od povrchu Zeme, nachádza sa na vysokej obežnej dráhe a jeho rotácia začína zodpovedať rotácii Zeme. Táto obežná dráha nie je satelitne príliš využívaná, slúži však ako úložný priestor pre prebytočné satelity. Pod vysokou obežnou dráhou je geostacionárna obežná dráha. Keďže sa jedná o špecifický typ geosynchronnej obežnej dráhy, čas obežnej dráhy je rovnaký ako čas rotácie Zeme okolo svojej osi. Sklon družíc na tejto obežnej dráhe voči rovníku je 0°, čo spôsobuje, že satelit sa nachádza vždy na rovnakom mieste vzhľadom na zemský povrch. Geostacionárna obežná dráha je veľmi dôležitá, najmä pre sledovanie počasia, práve kvôli tomu, že družice na tejto obežnej dráhe poskytujú stály pohľad na rovnakú oblasť. [3]

3.2. Stredná obežná dráha

Družice na strednej obežnej dráhe sú bližšie k Zemi, čo im umožňuje rýchlejší pohyb. Existujú dva typy stredných obežných dráh. Prvou je semi-synchronná obežná dráha, ktorá sa nachádza vo výške asi 20 000 kilometrov nad zemským povrchom. Družice nachádzajúce sa v tejto nadmorskej výške potrebujú zhruba 12 hodín na to, aby prešli celú obežnú dráhu. Druhým typom stredne veľkej obežnej dráhy je obežná dráha Molnija, ktorá je navrhnutá na pozorovanie vysokých zemepisných šírok a je vhodnou alternatívou ku geostacionárnej dráhe pokrývajúcej severnejšie a južnejšie oblasti iba okrajovo. [3]

MEO tvorí široké spektrum dráh medzi LEO a GEO. Podobne ako LEO nemá špecifickú obežnú dráhu okolo Zeme a môžu ju využívať rôzne družice vykonávajúce rôzne misie. Najčastejšie sa používa pre navigačné družice, napr. európskym systémom Galileo vyobrazenom na Obr. č. 3. Systém je možné použiť na všetky typy navigácie – od sledovania veľkých dopravných lietadiel až po určovanie trás v mobilných telefónoch. Rovnako ako iné systémy, aj Galileo využíva satelitnú sieť, ktorá okamžite pokrýva väčšinu sveta.

3.3. Nízka obežná dráha

Ako naznačuje názov, nízka obežná dráha je obežná dráha relatívne blízko k povrchu Zeme. Vo väčšine prípadov sa táto oblasť označuje vzdialenosťou menej ako 1 000 kilometrov od Zeme, najmenej však 160 kilometrov nad Zemou. V porovnaní s inými obežnými dráhami je samozrejme veľmi nízka, ale aj napriek tomu je vysoko nad zemským povrchom. Pre predstavu – väčšina komerčných lietadiel nevystúpi do výšky viac ako 14 kilometrov, takže aj najnižšia obežná dráha je viac ako 10-krát vyššie. [4]

Na rozdiel od vyššie spomenutých družíc na geostacionárnej obežnej dráhe, ktoré musia nepretržite obiehať okolo Zeme iba nad rovníkom, sa na družice na nízkej obežnej dráhe toto pravidlo nevzťahuje – ich dráhy sa dajú nakloniť. To znamená, že existuje viac spôsobov prístupu k LEO, čo je jeden z dôvodov,

prečo je LEO blízko povrchu Zeme. Táto obežná dráha sa najčastejšie používa na satelitné snímkovanie, pretože čím bližšie k Zemi sa nachádza družica, tým vyššie je rozlíšenie snímaného obrazu. Na tejto obežnej dráhe operuje aj ISS, takže astronauti sa na ňu môžu ľahko dostať a vrátiť sa späť. Rýchlosť satelitov na tejto obežnej dráhe je zhruba 7,8 km/s. Pri tejto rýchlosti trvá okolo 90 minút, kým obehnú okolo Zeme. Vďaka tomu astronauti na Medzinárodnej vesmírnej stanici obehnú okolo Zeme 16-krát denne. [3]

Na druhej strane jednotlivé satelity na LEO nie sú vhodné na úlohy ako sú telekomunikácie. Kvôli tomu, že sa na oblohe pohybujú veľmi rýchlo, je potrebné vyvinúť veľké úsilie na to, aby pozemná stanica smerovala anténu k pohybujúcej sa družici. Naproti tomu sú komunikačné satelity na LEO súčasťou veľkej satelitnej siete. Veľké množstvo satelitov poskytuje neustále pokrytie a niekedy také satelitné siete pozostávajú z rovnakých satelitov vypustených spoločne. Vďaka vzájomnej spolupráci dokážu pokryť súčasne väčšiu plochu.

4. Klasifikácia meteorologických družíc

V dnešnej dobe sa používanie satelitov na predpovedanie počasia a súvisiacich meteorologických javov stalo takmer nevyhnutnou súčasťou života. Údaje z týchto satelitov sú určené na použitie na dlhodobé predpovede počasia, krátkodobé predpovede počasia, na nowcasting – veľmi krátkodobé predpovede, na pohyb tropických cyklónov alebo hurikánov a na významnú úlohu pri zabezpečovaní preventívnych opatrení v letectve alebo iných dopravných operáciách [16].

Meteorologická družica je umelý satelit, ktorý zhromažďuje údaje týkajúce sa zemskej atmosféry a povrchu tak, aby pomohol meteorológom porozumieť poveternostným podmienkam a pripraviť predpoveď počasia [17].

Neodmysliteľnou súčasťou nášho života sa stáva využívanie meteorologických družíc. Meteorologické družice sa využívajú na predpovedanie počasia a meteorologických javov.

Meteorologické družice sa rozdeľujú do dvoch primárnych kategórií vymedzených podľa typu obežnej dráhy, a to geostacionárne a polárne orbitálne alebo inak nazývané aj cirkumpolárne. Obe dva typy družíc majú jedinečné vlastnosti a vytvárajú rozličné druhy informácií a údajov, ktoré sú patrične zodpovedajúce pre ich ďalšie využitie.

4.1. Geostacionárne družice

Geostacionárne družice sú umelé družice obiehajúce Zem približne 36 000 kilometrov nad rovníkom. Ich rýchlosť obiehania okolo Zeme je zhodná s rotáciou Zeme okolo svojej osi, t.j. ich rotácia je synchronná s rotáciou Zeme a neustále sa zameriavajú na rovnakú oblasť. Toto umožňuje satelitu každých 30 minút fotografovať Zem na rovnakom mieste. Počítačové spracovanie týchto údajov vytvára „filmové slučky“ údajov, ktoré prognostici používajú ako svoj „pohľad z vtáčej perspektívy“ v reálnom čase z vesmíru. Nevýhodou, vzhľadom k ich výške, v ktorej operujú, je nielen nutnosť použitia oveľa lepších skenerov s priestorovou rozlišovacou schopnosťou, ale aj veľké energetické nároky. [5]

4.1.1. METEOSAT

Prvá generácia družíc METEOSAT bola vynesená na obežnú dráhu v roku 1977, kde z mysu Canaveral odštartovala americká raketa Delta, ktorá vyniesla družicu METEOSAT-1. Nasledujúce družice boli vynášané raketami pochádzajúcimi z Európy, a to raketami Ariane z Guyanského kozmického centra vo Francúzskej Guyane. V súčasnej dobe sú v účinnosti dve družice prvej generácie a dve družice druhej generácie. Pre družice je dôležitá činnosť vo dvojici z toho hľadiska, že jedna pracuje ako hlavný zdroj a druhá ako záložný. Prvá z dvojíc sa nachádza nad Indickým oceánom. Druhá dvojica je umiestnená nad nulovým poludníkom a Guinejským zálivom a sníma časť Ameriky, Afriky a Európu. [6]

V súčasnosti majú geostacionárne meteorologické satelity MATEOSAT kľúčovú úlohu pri poskytovaní nepretržitých pozorovaní atmosféry pri predpovedi počasia aj pri monitorovaní najrôznejších environmentálnych javov. Po úspešnom uvedení prvého satelitu do série METEOSAT druhej generácie (MSG) Eumetsat a ESA už aktívne plánujú ďalší európsky operačný geostacionárny meteorologický satelitný systém vo forme tretej generácie.

Tabuľka 1: Meteosaty prvej generácie. Zdroj: [7].

Satelit	Dátum vypustenia do vesmíru	Dátum vyradenia z prevádzky
Meteosat-1	23.11.1977	25.11.1979
Meteosat-2	19.06.1981	08.08.1988
Meteosat-3	15.06.1988	31.05.1995
Meteosat-4	03.03.1989	08.08.1998
Meteosat-5	03.03.1991	16.04.2007
Meteosat-6	19.11.1993	15.04.2011
Meteosat-7	02.09.1997	31.03.2017

Tabuľka 2: Meteosaty druhej generácie. Zdroj: [8].

Satelit	Životnosť
Meteosat-8	28.08.2002 – do r. 2022
Meteosat-9	22.12.2005 – do r. 2025
Meteosat-10	05.07.2012 – do r. 2030
Meteosat-11	15.07.2015 – do r. 2033

Tabuľka 3: Meteosaty tretej generácie. Zdroj: [9].

Satelit	Plánovaný dátum vypustenia
MTG I1	Koniec roku 2022
MTG S1	Koniec roku 2023
MTG I2	2025
MTG I3	Asi 10 rokov po MTG I1
MTG S2	Asi 10 rokov po MTG S1
MTG I4	Asi 10 rokov po MTG I3

4.1.2. GMS

Družice GMS (Geostationary Meteorological Satellite) sú vyrábané japonskou spoločnosťou NEC a prevádzkované japonskou spoločnosťou NASD. 14. júla 1977 bol do vesmíru vynesенý prvý satelit GMS, satelit GMS-2 bol vypustený 10. augusta 1981 a satelit GMS-3 vypustený 2. augusta 1984. Družica GMS-4 bola vypustená 5. mája a operácia sa skončila 22. februára 2000. Družica GMS-5 (Himawari-Sunflower) bola vynesená z Tanegashimy (asi 1 000 kilometrov juhozápadne od Tokia) 18. marca 1995 a nahradila satelit GMS-4. Spočiatku bol satelit nastavený na 160° v.d, ale napokon koncom júna 1995

bola presunutá na 140° v.d. (nad Austráliou). Satelity GMS poskytujú snímky každých 25 minút. [5]

4.1.3. GOES

Družica GOES-1 bola vypustená na obežnú dráhu 16. októbra 1975 a po nej bola vypustená 16. júna 1977 aj GOES-2. GOES-3 bola vypustená 16. januára 1989, GOES-4 bola vypustená 9. septembra 1980, GOES-5 vypustená 2. februára 1981, GOES-6 vypustená 8. februára 1983. V súčasnosti sa satelity GOES nachádzajú nad 75 ° d. A 135 ° v. d. Ako mnoho satelitov na sledovanie počasia, aj GOES bol vyvinutá a vypustená do vesmíru organizáciou NASA. [6] Geostacionárne environmentálne satelity (GOES) poskytujú konzistentný a spoľahlivý dohľad na celej západnej pologuli a sú nevyhnutné na identifikáciu a sledovanie nepriaznivých poveternostných podmienok, snehových búrok, tropických cyklónov a núdzových majákov, ktoré prevádzajú lode, lietadiel a dokonca aj turistov. Spoločnosť NOAA v súčasnosti prevádzkuje satelity GOES-S a GOES-16 na pozícii „GOES východ“, GOES-15 na pozícii „GOES západ“ a na obežnej dráhe si vyhradzuje GOES-13 a 14 ako zálohu. [6]

4.1.4. INSAT

Indický oceán sledovala aj séria indického národného satelitu INSAT 3. Druhým vypusteným satelitom je satelit INSAT-3C, ktorý obsahuje svoje telekomunikačné funkcie a zahŕňa aj prenos obrazu zo skenovacieho rádiometra s vysokým rozlíšením vo vzdialenosti 2 km v pásme viditeľného svetla a 8 km v infračervenom pásme. V roku 2002 sa satelit dostal na obežnú dráhu. Ďalším z tejto série družíc je INSAT-3A, ktorý bol vypustený do vesmíru v roku 2003 na meteorologické a telekomunikačné účely. Zatiaľ posledným satelitom vypusteným v roku 2013 je INSAT-3D. Všetky uvedené satelity sú prevádzkované pod vedením Indickej organizácie pre vesmírny výskum. [6]

4.2. Družice na polárnych dráhach

Meteorologické družice na polárnych dráhach sú tie, ktoré obiehajú okolo Zeme cez severný a južný pól a využívajú nadmorské výšky od 200 do 1000 km. Trasa ich orbity môže byť buď severo-južná alebo južno-severná. Meteorologické družice na polárnej obežnej dráhe sa nachádzajú na heliosynchronnej dráhe, čo znamená, že majú schopnosť pozorovať každý deň dvakrát ktorékoľvek miesto na zemi vďaka konštantným svetelným podmienkam.

4.2.1. NOAA

Súčasná polárna obiehajúca družica v oblasti životného prostredia zahŕňajú NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 a NOAA-20. Tieto satelity hrali dôležitú úlohu vo výskume a vývoji série spoločných polárnych satelitných systémov. Dnes hrajú rôzne primárne a sekundárne úlohy, poskytujú globálne pokrytie dát pre širokú škálu poveternostných a environmentálnych aplikácií, podporujú krátkodobé predpovede počasia a dlhodobé zaznamenávanie údajov o klíme a životnom prostredí. Každá obežná dráha trvá približne 102,1 minúty a satelit obieha okolo Zeme približne 14,1-krát denne, čo im umožňuje vidieť celú planétu dvakrát denne. Polárna obežná dráha umožňuje satelitom zhromažďovať denné globálne údaje pre pozemné,

oceánske a atmosférické aplikácie. Tieto údaje sa používajú v rôznych aplikáciách na monitorovanie životného prostredia, ako sú analýza a predpovede počasia, výskum a predpovede podnebia, meranie globálnej teploty povrchu mora, výskum dynamiky oceánov, analýza globálnej vegetácie a mnoho ďalších aplikácií. [10]

4.2.2. METEOR

METEOR sú ruské meteorologické družice. Sériu družíc Meteor sa začala vyvíjať na počiatku 60. rokov. Hlavným zámerom týchto družíc bolo monitorovanie teplôt atmosféry a morí, sledovanie stavu morského ľadu a snehovej pokrývky, vlhkosti a žiarenia. Výška orbity týchto satelitov je od 650 až do 1200 km. Ruský METEOR 1-1 je prvý plne vybavený meteorologický satelit, ktorý bol vypustený 26. marca 1969 raketou Vostok. Meteor 2-21 je 21. a posledný meteor z 2. várky ruských meteorologických satelitov vypustených v roku 1993. Meteor-3 využíva na mapovanie ozónu v atmosfére spektrometer TOMS. Do vesmíru bol vynesенý 15. augusta 1991. Meteor-3 TOMS mal jedinečnú trajektóriu, ktorá prinášala špeciálne problémy so spracovaním údajov. Meteor-3 TOMS bol vyradený z prevádzky od decembra 1994. Meteor 3-5 spustený v roku 1991 má vyššiu obežnú dráhu ako Meteor 2-21. Meteor-3-6 je 6. satelit v sérii meteorologických satelitov Meteor-3. Do vesmíru bol vynesенý v roku 1994. Tieto satelity poskytujú informácie o počasi vrátane údajov o oblačnosti, snehovej pokrývke, atmosférickom žiarení, vlhkosti a stave ozónovej vrstvy. [11]

Tabuľka 4: Družice Meteor Zdroj: [11].

Názov družice	Počet vypustených družíc	Dátumy vypustenia
Kosmos	8	1963-1969
Meteor	22	1969-1977
Meteor-Príroda	7	1973-1983
Meteor-2	22	1977-1995
Resurs-O1	6	1980-2000
Meteor-3	5	1988-1995
Elektro, Meteor-3M	3	1994-2009
Meteor-M	4	2009-súčasnosť

Sériu meteorologických družíc Meteor-3M mala byť pokročilou sériou družíc na polárnej dráhe s jedným viditeľným kanálom s rozlíšením 1,4 km a desaťkanálovým rádiometrom s rozlíšením 3 km. Pôvodným plánom bolo vypustiť v rokoch 1998-2000 na obežnú dráhu spolu štyri družice, avšak kvôli finančným problémom z roku 1998 bola vypustená len jedna. Po tejto udalosti sa začalo s vývojom nových družíc Meteor-M. Primárnym cieľom bolo poskytovanie predpovedí počasia spolu s monitorovaním ozónovej vrstvy, pozorovaním morskej a oceánskej ľadovej pokrývky a úroveň žiarenia vo vesmíre. Ruskí predstavitelia sľúbili od roku 2012, že do roku 2015 budú obiehať okolo Zeme až štyri družice Meteor-M, avšak tieto plány sa museli niekoľko rokov odkladať. Roskosmos (ruská vládna agentúra zodpovedná za ruský vesmírny program a letecký výskum) uviedla v októbri 2017, že vypustenie družice Meteor-M č. 2-2 je naplánované na rok 2018, za ňou bude nasledovať Meteor-M č. 2-3, ktorý bude vypustený v roku 2020 a konštelácia bude zakončená vypustením družice Meteor-M č. 2-4 v roku 2021. Meteor-M č.3, ktorý monitoruje more bol však pre nedostatok financií spustený až po roku 2020. Spustenie

Meteoru-M č. 2-3 sa v úvode roku 2020 presunulo na august 2021. [12]

Tabuľka 5: Družice Meteor-M. Zdroj: [12].

Názov družice	Dátum vypustenia	Štartovacia raketa
Meteor-M č. 1	17.09.2009	Soyuz-2-1b
Meteor-M č.2	08.07.2014	Soyuz-2-1b
Meteor-M č.2-1	28.11.2017	Soyuz-2-1b
Meteor-M č.2-2	05.07.2019	Soyuz-2-1b

4.2.3. METOP

EUMETSAT riadi aj európske družice Metop-A, -B a -C, ktoré obiehajú Zem na polárne orbitálnej obežnej dráhe a kontinuálne zbierajú dáta z výšky 817 km. Družice nesú na palube zaťaženie v podobe ôsmich hlavných prístrojov, ktoré zhromažďujú údaje a sú nevyhnutné pre predpoveď počasia a monitorovanie podnebia až na dobu 10 dní vopred. Sériu družíc Metop prvej generácie poskytuje dáta pre operačnú meteorológiu a aj pre klimatické štúdie. Kombinácia prístrojov na palube družíc Metop je schopná sledovať Zem vo dne aj v noci, a to aj za oblačných podmienok. Družice Metop a pozemný segment spolu tvoria EUMETSAT polárny systém. [13]

Tabuľka 6: Družice Metop. Zdroj: [13].

Názov družice	Životnosť	Pozícia
Metop-A	Od 19.10.2006	LEO
Metop-B	Od 17.09.2012	LEO
Metop-C	Od 07.11.2018	LEO

EUMETSAT už pripravuje druhú sériu družíc Metop, ktorá bude pokračovať v nadväznosti na prvú sériu. Kľúčovými vlastnosťami novej misie bude zlepšenie poskytovania predpovedí počasia, teploty povrchu morí, ľadovej pokrývky morí, meranie vlhkosti pôdy, zrážok a snehu slúžiace na prevádzku pre hydroológov. Taktiež bude poskytovať rozsiahlu analýzu povrchu krajiny na podporu interakcií zem-atmosféra a aplikácií biosféry prostredníctvom misie optického zobrazovania a podporu monitorovania podnebia na základe tvorby príslušných záznamov o podnebí a klíme. [13]

Tabuľka 7: Družice Metop – druhá generácia. Zdroj: [13].

Názov družice	Plánovaný dátum spustenia	Detaily
Metop-SG A1	Začiatkom roku 2024	823-848 km
Metop-SG B1	Začiatkom roku 2025	823-848 km
Metop-SG A2	Začiatkom roku 2031	823-848 km
Metop-SG B2	Začiatkom roku 2032	823-848 km
Metop-SG A3	Začiatkom roku 2038	823-848 km
Metop-SG B3	Začiatkom roku 2039	823-848 km

5. Prístroj SEVIRI

Na Slovensku sú požívané snímky z meteorologických družíc Meteosat druhej generácie na analýzu a prípravu predpovedí počasia. Tieto družice disponujú oproti prvej generácii novými prístrojmi a mnohými vylepšeniami. Hlavný prístroj, ktorý sa nazýva Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager (SEVIRI), je presnejší než prístroj Meteosat Visible And Infrared Imager (MVISI), ktorý bol zakomponovaný v družiciach Meteosat prvej generácie. Je zameraný na poskytovanie atmosférických informácií pre predpovede počasia pomocou výpočtovej techniky. Družica Meteosat 8 navyše nesie aj prístroj Geostationary Earth Radiation Budget, ktorý sa zameriava na monitorovanie klímy. Prístroj SEVIRI oproti prístroju MVIRI je schopný snímať až jedenásť rôznych úzkopásmových spektrálnych kanálov a jeden širokopásmový s vysokým rozlíšením (HRV). Snímané kanály sa označujú číslom, oblasťou elektromagnetického žiarenia a vlnovou dĺžkou sledovanej oblasti. Táto koncepcia umožňuje simultánnu prevádzku všetkých kanálov s rovnakou snímacou vzdialenosťou. Poskytuje používateľom vyššiu presnosť obrazu a produkty povrchová teplota a tiež nové typy informácií o stabilite v atmosfére. Navyše, keďže kanály vybrané pre MSG sú podobné kanálom AVHRR, ktoré v súčasnosti lietajú na polárnych dráhach, účinnosť globálneho systému sa zvýši vďaka spolupráci polárnych a geostacionárnych údajov. Zobrazovacia misia zodpovedá nepretržitému snímaniu Zeme v 12 spektrálnych kanáloch so základným cyklom opakovania 15 minút. [14]

Tabuľka 8: Kanály prístroja SEVIRI. Zdroj: [14].

Kanál	Typ kanálu absorpčného pásma	Stredná vlnová dĺžka (µm)	Šírka pásma (µm)
VIS 0.6	Solárny kanál	0,635	Od 0,56 do 0,71
VIS 0.8	Solárny kanál	0,81	Od 0,74 do 0,88
IR 1.6	Solárny kanál	1,64	Od 1,50 do 1,78
IR 3.9	Atmosférické okno	3,92	Od 3,48 do 4,36
WV 6.2	Absorpcia vodnej pary	6,25	Od 5,35 do 7,15
WV 7.3	Absorpcia vodnej pary	7,35	Od 6,85 do 7,85
IR 8.7	Atmosférické okno	8,70	Od 8,30 do 9,10
IR 9.7	Absorpcia ozónu	9,66	Od 9,38 do 9,94
IR 10.8	Atmosférické okno	10,80	Od 9,80 do 11,80
IR 12	Atmosférické okno	12,00	Od 11,00 do 13,00
IR 13.4	Absorpcia oxidu uhličitého	13,40	Od 12,40 do 14,40
HRV	Solárny kanál, vysoké rozlíšenie	0,75	Od 0,6 do 0,9

5.1. Pozorovanie meteorologických javov

Meteorologické pozorovania vývoja počasia prostredníctvom družíc zohrávajú v leteckom priemysle veľkú rolu. Predpoveď počasia je dôležitá najmä pri plánovaní letu a pri následnom

vyhodnocovaní najvhodnejšej trasy letu. V Európe a taktiež aj na Slovensku meteorológovia využívajú v praxi satelitné údaje z Medzinárodnej organizácie EUMETSAT. Úlohou EUMETSATu je vyvíjať nové družice podľa meniacich sa potrieb používateľov, výroba nových družíc, vypúšťanie na obežnú dráhu a ich prevádzka, ktoré zabezpečujú prenos údajov a produktov používateľom a vyvíjajú aplikácie na satelitné spracovanie údajov a školenie používateľov. [11]

5.2. RGB kompozície družicových snímok

Čím viac spektrálnych kanálov má satelitný skener, tým viac informácií poskytuje o atmosfére a oblakoch. Prax dokázala, že kompozícia RGB je užitočná na efektívne využitie veľkého množstva informácií. Jedná sa o farebné obrázky upravené kombináciou jednotlivých spektrálnych kanálov alebo ich rozdielov. Každý obrázok sa vo výslednom obrázku použije ako základné vrstvy farieb R, G a B (červená, zelená, modrá). Tieto jedinečné produkty RGB umožňujú identifikovať relatívnu veľkosť a fázu (kvapalinu / pevnú látku) vzdušných hmôt, oblakov a hydrometeorov. [15] Najbežnejšie používané z produktov RGB sú prirodzené farby (ang. Natural Colours), vzduchové hmoty (ang. Airmass), prach (ang. Dust), sneh (ang. Snow), nebezpečné búrky (ang. Convection), denná mikrofyzika (ang. Microphysics) a nad sopečnými oblasťami je monitorovaný popol (ang. Ash).

6. Referencie

- [1] Vanguard Project, 2015 [online]. Dostupné na internete: <<https://web.archive.org/web/20151223155930/http://www.nrl.navy.mil/accomplishments/rockets/vanguard-project/>>
- [2] 60 YEARS AGO NASA LAUNCHED TIROS-1 WORLD'S FIRST WEATHER SATELLITE, 2020 [online]. Dostupné na internete: <<http://www.energyglobalnews.com/60-years-ago-nasa-launched-tiros-1-worlds-first-weather-satellite/>>
- [3] Three Classes Of Orbit. [online]. Dostupné na internete: <<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/page2.php>>
- [4] The European Space Agency: Types of orbits [online] 2020. Dostupné na internete: <https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Transportation/Types_of_orbits>
- [5] Družicová meteorológia [online]. Dostupné na internete: <<http://www.senzorika.leteckafakulta.sk/?q=node/314>>
- [6] BYDŽOVSKÁ, Martina.: Systém meteorologických družíc, data a využití. [online]. Praha: 2004. Dostupné na internete: <kratas.borec.cz/down/druzice.pdf>
- [7] EUMETSAT: Meteosat First Generation (retired) [online]. Dostupné na internete: <<https://www.eumetsat.int/meteosat-first-generation-retired>>
- [8] EUMETSAT: Meteosat Second Generation [online]. Dostupné na internete: <<https://www.eumetsat.int/meteosat-second-generation>>

- [9] EUMETSAT: Meteosat Third Generation [online]. Dostupné na internete: < <https://www.eumetsat.int/meteosat-third-generation> >
- [10] Polar Orbiting: NOAA Satellite Tracks [online]. Dostupné na internete: < <https://sos.noaa.gov/datasets/polar-orbiting-noaa-satellite-tracks/>>
- [11] ZAK, A.: Meteor spacecraft family [online]. Dostupné na internete: < <http://www.russianspaceweb.com/meteor.html> >
- [12] ZAK, A.: The Meteor-M series, 2020 [online]. Dostupné na internete: <<http://www.russianspaceweb.com/meteor-m.html>>
- [13] EUMETSAT: Meteor Series, [online]. Dostupné na internete: <<https://www.eumetsat.int/our-satellites/metop-series>>
- [14] ESA: The Satellite Development [online]. Dostupné na internete: < <http://www.esa.int/esapub/br/br153/br153.pdf> >
- [15] SHMÚ: Monitorovacia sieť, merané veličiny a metódy monitorovania [online]. Dostupné na internete: < <http://www.shmu.sk/en/?page=330> >
- [16] 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
- [17] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5

Volám sa Nikola Mihalčinová, narodila som sa 12. marca 1999 v Košiciach. Od roku 2014 do 2018 som navštevovala Gymnázium Cyrila Daxnera vo Vranove nad Topľou. Po skončení gymnázia som nastúpila na Žilinskú univerzitu na odbor letecká doprava.

OBJECTIVE EVALUATION OF IFR TRAINING FLIGHTS

OBJEKTÍVNE HODNOTENIE VÝCVIKOVÝCH LETOV IFR

Andrej Mrocek

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mrocek1@stud.uniza.sk

Filip Škultéty

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

Abstract

We are living, working, and most importantly, flying in the 21st century, but in many areas still stick to old customs from the pre-millennial times. I have decided to attempt to improve the quality of flight instruction by implementing modern evaluation and debriefing methods to training flights performed in a flight school where I currently perform the role of a flight instructor. In my paper, I am explaining the way the training course is done in our conditions, how it is already different from other schools, what aircraft we use for training and how I evaluate the results of training flights. My research is about the effects of applying modern debriefing methods in our already modern instrument rating courses.

Keywords

Flight Instructor, Aircraft, Flight Training, Evaluation, Student, Methods, Debriefing

1. Foreword

Since the early days of aviation at the beginning of the 20th century, brave men and women carved out paths to modern, safe industry, as we know it today. Though technology has advanced dramatically, the pilot is still the key element and risk factor in flying. The best way to mitigate the risk of human errors is proper training. To make the training as efficient as possible, students should be made well aware of their conduct, be it positive or negative. Such debriefing shall be provided by their Flight Instructor, based solely on students' performance, with regards to piloting technique, safe aircraft operation, and much more data. However, sometimes other factors come to play. Since we are all humans, we are not always 100% objective with our opinions on other people. Subjective inputs might inadvertently distort valuable debriefing feedback.

What if we could eliminate the subjective, human factor from training flight evaluation? Especially when it comes to IFR flying, grading takes into count the pilot's ability to fly as precisely as possible, with only minimal deviations from the desired flight path. Apart from general situational awareness, emphasis is also given to following published procedures. All of this could be monitored using a GNS logging device, evaluated by computer software, and the 100% objective feedback provided to the student efficiently.

Could such a method make a difference for student pilots? Would it be practical to use and sustainable? Being currently stationed as a Flight Instructor at a state-of-the-art flight school in the Czech Republic, For the purposes of this paper, I am about to compare the effects of proper, objective, high-tech debriefing methods to conventional methods currently used on our students.

2. Background and state of the art

Flight schools are businesses like many others. The main goal of every business is obviously to make a profit. Generally speaking, the majority of flight training institutions are more profit-oriented than they should be. However, raising a new generation of pilots is not all just about business. It is a real mission. A mission, to make the aviation industry safer for everyone involved.

Living in the 21st century brought us undeniable technological advancements. The military and aerospace industry was responsible for the most of technical research applicable to nowadays' civil aviation sector. The greatest use for us comes from the invention of satellite-based navigation systems. Combined with tracking tools, memory devices and data processing software, this creates and opportunity for applying modern solutions to training flight debriefing, which is undeniably a key element of the entire teaching and learning process in aviation.

To harvest the greatest amount of valuable data straight from aircraft's Air Data Computer and Attitude and Heading Reference System, or in short, ADC and AHRS, I would highly recommend plugging an SD card into the port located on the frame of Garmin's G1000 Perspective+ avionics suite, specially designed for this purpose. All of the flights within my research have been performed on airplanes of a single operator, who enforces very high safety standards, where SD cards are standard for logging flight data as a part of their safety program. With their approval, I used this data also for debriefing purposes with my students. The entire process of transferring these figures from the aircraft to the TV in our briefing room takes on average about 10 minutes

After exporting flight data from the SD card inserted into the frame of Garmin's G1000 Perspective+ Avionics Suite for the duration of the entire flight and obtaining a sheet full of raw data, it is of great significance to choose the correct and the most efficient way to work with this information. The most suitable solution appears to be purchasing a commercially available software, instead of developing an own one, since software development would have to be delegated to a dedicated team. Out of many companies providing such software for public use, there seems to be a single winner. Yet again, selecting a software provider is not the subject of my main research and there was legally no need for public procurement, as the subscription has been purchased utilizing private funds.

Without further ado, I would like to introduce key features of CloudAhoj – debriefing for pilots. As mentioned, the key feature of the software is the ability to track flights. However, there are many add-on valuable tools, that not using them would be a waste of resources. As an example, the flight segmentation. I would definitely consider this an extremely valuable tool for flight instructors. To avoid having to scroll through the entire flight log in order to be able to review the desired maneuver, for example, approach and landing, which tends to be located at the very end of the flight log. Flight segmentation divides the log into segments, while each maneuver or change in flight profile is logged with a separate tag. The flight instructor is then able to skip through the flight log and show only those parts, which are desired for debriefing purposes, be it because these were problematic or simply require further attention. Flight segmentation can either be achieved automatically by the software's built-in technology, which can recognize maneuvers such as turns, climbs, descends, stalls and instrument approaches. This ability can be considered crucial for debriefing flights following instrument flight rules. Furthermore, the software works with a built-in database of instrument approach procedures and is therefore capable of comparing the actual – recorded flight path to the desired flight path according to the aforementioned database. The system is capable of analyzing the accuracy of the pilot's performance and eventually provides objective evaluation. More on that later. Shall the automatic segmentation feature malfunction or shall the crew perform a non-standard maneuver, which they desire to be logged as a separate segment, there is an option to divide segments manually.

The aforementioned scoring system is one of the best tools for flight instructors on the market to this date, according to my independent opinion. Being able to reduce flight instructor's workload by eliminating the need for constant monitoring and noting of flight profile deviations, opens up mental capacity for other tasks. The student will receive an automatically determined score for each maneuver [ref. Figure 1], as well as for the entire flight, based solely on his or her piloting technique. Obtaining feedback on this level of machine objectiveness with no influence of subjective human interactions might be beneficial for the student pilot's self-criticism, ability to prepare more efficiently for the upcoming lessons, and therefore general progress in their training. The scoring system is based on a zero to one hundred points scale, taking into account parameters such as correct altitude, speed, track, descend angle, etc.

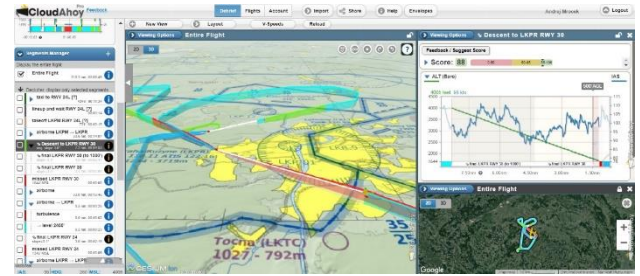


Figure 1: Maneuver scoring. Source: Authors.

3. Research Methods

Due to the currently ongoing global situation with pandemics and lockdowns all around the world, I accept the fact that I have to work with limited resources. Therefore the research can only be performed on a rather small scale, which would hopefully still provide some answers to the question regarding the effect of modern debriefing methods on students' performance in flight training.

I managed to gather six testing subjects. As a part of my studies at the University of Žilina, I am undergoing on-the-job experience at an American aircraft manufacturer's authorized dealer and training center just out of Prague, Czech Republic. There I am tasked with performing the duties of corporate pilot and flight instructor for the company's clients. My six subjects for this research are in fact clients who decided to undergo a training program to obtain an instrument rating on a high-tech, premium category airplane.

The aforementioned six subjects, we shall refer to them as students, would be divided into two groups of three students. Group 1 would be introduced to debriefings using advanced technology including CloudAhoj software. Group 2 would be considered a control group, which would undergo the same set of lessons, with the exception that only standard, proven ways of debriefing would be applied. Their lesson to lesson progress would be monitored as well. The product of this research will be a set of data comparing the lesson-to-lesson progress of my students' performance. The core comparing element will be the number of flights required to successfully meet the standards required to pass the given lesson.

4. The training course

Among the latest trends in flight training under EASA, there is a so-called competency-based instrument rating course. Aimed for private pilots, who prefer to only take a simplified battery of tests, compared to traditional instrument rating courses, students have to attend theory lessons and pass written exams in as little as seven subjects. Some key features of competency-based training are inspired by well-established methods from overseas, to be precise, the United States of America and their somewhat less strict FAA regulations. As an example, pilots no longer have to undergo 100% of instrument flying under an approved training organization, commonly referred to as ATO. Instead, there is a possibility to perform some flights with an independent flight instructor first.

The first few lessons consist mostly of observing the flight instructor performing all the duties, explaining what is happening and how to efficiently apply single-pilot resource

management in the cockpit of a client's aircraft during instrument flight. This would be typically executed on a rather regular, not significantly interesting business flight from the client's home airport in the Czech Republic to Germany or the Netherlands and back. After getting the idea of what to expect and what it takes to perform an instrument flight, the student would try flying the airplane in the upcoming lesson. He or she would perform the take-off and landing manually, but for the rest of the flight, the autopilot would be engaged. Students would focus on instrument procedures, associated briefings, and checklists, while the flight instructor would handle the radio communication with air traffic control. If the client does not need to travel for business, we would simulate a real mission on an approximately one-hour long flight to an airport with no especially difficult procedures, such as Dresden, Hof-Paulen, or Bratislava. Once the student is comfortable with the single-pilot resource management concept, working flows, checklists and is capable of successfully and safely performing the instrument procedures, they would be handed radio communication as well. This could be challenging at first, but some extent of practice and consistent attitude in-flight instruction will do the trick almost every time. When they manage the radio work at a reasonably proficient level, more hand flying is added to their lessons. The last part of gaining competency for the CB-IR course would usually consist of visiting especially challenging airports and weather conditions, if not practiced already during the client's real missions. The airports we like to visit with advanced students include, but are not limited to, especially those deep in tall mountains, such as the Alps. A typical example would be Samedan near St. Moritz ski resort, Innsbruck in Austria, or Lugano in Italy. Flying to destinations like these often includes facing moderate or severe weather, which could be Foehn winds or thunderstorm buildups in summer. In the meantime, they can attend theory classes at any ATO. I believe it is a great advantage that students can simultaneously gain flying experience and learn relevant theoretical knowledge since the content of ground lectures makes more sense to them and should be easier to understand when they can apply this newly acquired wisdom in an actual flight.

After gaining a sufficient level of competency, applicants seek a flight school, capable of providing training to obtain an instrument rating, usually an ATO. Before commencing the actual training according to the given syllabus, students must meet requirements for minimum flight time and undergo a check flight with a senior instructor or head of training. Depending on demonstrated knowledge and skills, the flight school would propose a training program that the applicant must go through before being issued a certificate for completing the training and being able to apply for a skill test with an aeronautical examiner. The aforementioned improvements of the training concepts make instrument rating more accessible to non-professional pilots, hence providing options for increasing skill level to a wide range of pilots, consequently improving general safety in the aviation community. This way of training is not for everyone though, since instrument rating obtained in a competency-based course is valid only for private flying. Therefore, commercial operations are out of the scope for those who have chosen the CB-IR way. Hence it is not a way of choice for university students, who would eventually like to become professional pilots.

5. Aircraft used in the training

The flight school involved in my research uses Cirrus design corporation's series of high-performance, single-engine, piston-powered light aircraft designated as SR20, SR22, and SR22T. All of these models feature state-of-the-art avionics and onboard systems. Students usually complete their entire training, including the course for obtaining the private pilot certificate, in this series of airplanes. Furthermore, there is also a light jet available, designated as SF50 Vision Jet, but we do not use those for training flights in instrument rating courses.

Having the latest up-to-date avionics available in your airplane might make a huge difference compared to flying the same airframe with steam gauges. The earliest Cirrus models were equipped with a traditional analog set of basic instruments, commonly referred to as six-pack. Later on, glass cockpits were introduced into the line production and marketed as Avidyne Entegra Avionics Suite. It caught the eye of every pilot and aspiring aircraft owner. At the time, it was surely progressive, but now we look at those avionics as ancient, since we operate mostly aircraft of generations 5 and 6. The innovation cannot be halted. Therefore Cirrus equips all new models with the Garmin G1000 avionics suite, which is specially tailored for the SR series and marketed as "Garmin Perspective+" [ref. Figure 2]. This consists of two large digital screens. They are designated as PFD – the primary flight display and MFD – the multi-function display. While the PFD provides all the information from the old six-pack integrated into the digital environment of the user interface, additional information can be added. The nature and amount of supplementary information can be customized by the crew at any given time. As an example, these could include a small inset map displaying terrain, traffic, weather, GPS route, or any combination of those. Another option is synthetic vision, which virtually portrays what the pilot can or could see out of the window. Enabling features like pathway boxes and flight path vector turns the instrument flying into an immersive videogame-like experience. The MFD provides an enormous selection of data to be displayed. An enhanced engine monitoring system, navigation pages, satellite weather, traffic map, airport, and en-route charts, digital checklists, performance data, and flight plan data, to name a few.



Figure 2: Garmin Perspective+ equipped cockpit. Source: Authors.

Apart from other safety features, like spin-resistant wing design and technologies like TCAS, TAWS, satellite weather and many more, all Cirrus aircraft features an improvement in aviation

safety that had become a legacy icon of the brand. Since introduced in 1998, a ballistic recovery system comes as standard with every Cirrus built ever since. The system is marketed as Cirrus airframe parachute system, CAPS in short, and consists of a single-use, solid-fuel rocket stored in a special compartment in the aircraft's tail section, a parachute 16 to 20 meters in diameter, depending on the aircraft generation, with sturdy paracord straps to the crew and passenger compartment, and an activation pull-lever-style handle. As of May 12th, 2021, there have been 104 successful CAPS deployments with all occupants surviving with none or only minor injuries, when the system was activated in designer conditions. The limitations only mention minimum height for system deployment, varying from 500 to 600 feet above ground level, depending on the specific model, and maximum demonstrated deployment speed of 140 knots of indicated airspeed. The first condition ensures that the parachute has enough time to get successfully deployed, while the latter one is related to the possible load factor on the airframe and parachute cords when activated at high airspeeds. Nevertheless, there have been successful deployments or saves, as Cirrus likes to call them, also outside the designed envelope. Once the system is activated by pulling a red handle from the cabin ceiling with a force of 20 kilograms, an electrical fuse activates the rocket, which subsequently pulls out the packed parachute, and the entire airplane, or the cabin at least, lands on the ground. To ease the impact, there are special energy-absorbing seats installed and airbags integrated into the shoulder harnesses. The CAPS might be used in case of engine failure in instrument meteorological conditions, at night or simply when an adequate landing site is not available, in case of a mid-air collision, loss of control in flight, or anytime a safe outcome of any given situation is in doubt. This system has become the ultimate safety net for Cirrus pilots all around the globe.

6. Sample flight

First comes the briefing based on student's performance during the last lesson and rehearsal of the problematic areas that need further attention. This is achieved by reviewing the previous flight log and discussing what could have been done differently to achieve better results. Another part of the pre-flight routine is obviously route briefing, weather analysis, mass and balance, fuel and performance calculations, as well as aircraft inspection.

For the flight itself, the student pilot takes the left seat while the flight instructor is acting as a pilot in command from the right seat. A training mission at the company, where I currently operate, could take us practically anywhere from the North sea all the way down to the Mediterranean. Irrespective of the destination, a strong emphasis would be given on single-pilot resource management, which is the core topic we are focusing on when teaching our clients how to safely and efficiently perform a flight according to the instrument flight rules.

After the flight is finished, data is downloaded from the SD card inserted into the aircraft's avionics suite and portrayed using debriefing software. While this process is done, the student gets an opportunity to assess themselves. This is usually a good indicator of their self-esteem level. If too high or consequently too low a level of flying self-confidence is observed, additional measures should be taken in order to help the student reach the right level. Once the data is available, the instructor uses those to rewind back in time and take advantage of so well recorded

altitude, heading, speed and much other information to demonstrate which areas were problematic. Then he or she only has to explain how to correct the imperfections.

7. Traditional vs modern evaluation methods

In most flight schools, the evaluation of training flights is solely the responsibility of the flight instructor. Every aspect of the flight has to be recorded by the instructor in their notes, organized in a such way, that it might be later used for debriefing with a student. It is also of great importance to not overwhelm the student with an unnecessary and unproductive amount of data that he cannot work with. Instead, the instructor should attempt to work on a specific area to improve during each lesson. This and other challenges tend to have a negative effect on their workload. The increased workload might be beneficial to some extent since increased stress level improves focus and productivity to some people. However, once the stress exceeds a bearable amount, a human is no longer able to cope with it and their performance starts to deteriorate rapidly. Another factor contributing to one's ability to deal with the workload is fatigue. As the day progresses, as the instructor has to deliver over and over again, the fatigue level rises. A rising level of fatigue may result in moving the critical stress level threshold lower and lower. Once this happens, the flight instructor might not always be objective with their students due to exhaustion setting on. This might present a serious issue in the training process. Even if this was not the case, relying exclusively on handwritten notes and black or whiteboard is a time-proven way of educating, but since we live in a modern, everchanging world, there must be a better way.

Contrary to traditional methods, the modern ones I am utilizing do not put the flight instructor in the role of the sole evaluator of the training flight. In my belief, just like in business administration, outsourcing is the key. Pilots already outsource the actual stick and rudder flying to the autopilot, air traffic controllers outsource finding future traffic conflicts to high power computers, so why should flight instructors not outsource part of their duties to a computer as well? Not the actual instruction though, only the evaluation part. The modern methods used in my research consist of recording elaborate flight data on an SD card, processing them using high-end software, and finally presenting them to the student in a well-arranged user interface. Furthermore, the software provides additional features for making the flight debriefing a more enjoyable environment for the student, turning the entire flight training process into a game-like experience. The flight gets scored automatically and provides an option to focus on problematic areas.

8. The research results

After tracking students' progress throughout tasks within the training program, figures 3 through 5 provide an overview of the results. Figure number one introduces data for students of the research group, while figure number two shows the performance of students of the control group and figure number three provides an overview of an average number of required flights for all students within both groups. Each column tracks the progress of an individual student. Each row provides the name of a task that students must be able to perform in order to obtain a record of competency before proceeding with the training. The core of the summary sheet provides information

about the number of flights required to achieve satisfactory performance since the first introduction of the given task. The data in brackets state the difference compared to the average number of required flights among all students including the control group.

Table 1: Research data - group 1. Source: Authors.

Task / Flights required	Student A	Student B	Student C	Average
Attitude flying	2 (-2)	5 (+1)	3 (-1)	3
VOR radial intercepting	3 (+0)	3 (+0)	2 (-1)	3
3D Approach	4 (+0)	4 (+0)	3 (-1)	4
2D Approach	2 (-2)	3 (-1)	3 (-1)	3

Figure 2: Research data - group 2 (control group) Source: Authors.

Task / Flights required	Student D	Student E	Student F	Average
Attitude flying	7 (+3)	4 (+0)	5 (+1)	5
VOR radial intercepting	2 (-1)	3 (+0)	2 (-1)	2
3D Approach	9 (+5)	5 (+1)	4 (+0)	6
2D Approach	7 (+3)	4 (+0)	4 (+0)	5

Figure 3: Research data - average of both groups Source: Authors.

Task / Flights required	Average both groups
Attitude flying	4
VOR radial intercepting	3
3D Approach	4
2D Approach	4

9. Conclusion

Although students who have been debriefed using modern methods demonstrated slightly better performance, it is not apparent whether this is the main contributing factor. Attitude towards the entire training process varied significantly among each individual student. While some have great motivation, are aviation enthusiasts, study additional materials on various flying related topics on their own and always complete their home assignments, while other students lack adequate motivation and systematic approach towards learning, barely invest any time in studying, except for lessons with instructor and do not seem to be very interested in their aviation career, only in the fact that they can refer to themselves as pilots.

There are too many variables and a rather insignificant sample of testing subjects, To mitigate fluctuations in each student's individual performance, I would propose to conduct similar research on a much larger scale, perhaps with subjects of the younger generation that is more adaptable and used to working with new technologies on a daily basis.

Acknowledgement

This work was supported under the project of Operational Programme Integrated Infrastructure: Research and development of the usability of autonomous UAVs in the fight against the pandemic caused by COVID-19, ITMS code 313011ATR9. The project is co-funding by European Regional Development Fund.

References

- [1] Composite authors, 2017. Aviation Instructor's Handbook. New York, USA: Skyhorse Publishing, 2017, 232 pages, ISBN 9781510725447
- [2] Composite authors, 2019. Human performance & limitations: ATPL(A), ATPL(H). 7th edition, Clevedon, UK : Bristol Groundschool International Limited, 2019, ISBN 978-1-912679-20-1
- [3] Composite authors, 2016. Human Performance and Limitations. Version 1.4, Gloucester, UK: Padpilot Ltd, 2016, 242 pages, ISBN 978-1-90600-42-3
- [4] David Robson and composite authors, 2008. The Pilot's Manual: Access to Flight. Newcastle, USA: Aviation Supplies & Academics, Inc., 2008, 1227 pages, ISBN 978-1-61954-390-4
- [5] EASA Part-FCL: 2016: Annex 1 - Flight Crew Licensing
- [6] EASA Part-MED/AMC: 2011: Acceptable Means of Compliance and Guidance Material to Part-MED
- [7] Cirrus Aircraft. 2016. Flight Operations Manual: Cirrus Perspective Avionics - SR20, SR22, SR22T [Apple iBooks]. Duluth, USA: Cirrus Aircraft, 2016. [APR 2021]. Available at <<https://books.apple.com/us/book/flight-operations-manual/id1072487639>>. ISBN N/A.
- [8] Cirrus Aircraft, 2013. PILOT'S OPERATING HANDBOOK AND FAA APPROVED AIRPLANE FLIGHT MANUAL for the CIRRUS DESIGN SR22. Duluth, USA: Cirrus Aircraft, 2012. 346 pages, ISBN N/A
- [9] Cirrus Aircraft. Cirrus Approach – Learning Catalog [online]. Available on the internet: <https://learning.cirrusapproach.com/learning-catalog> [APR 2021]
- [10] CloudAhoy – debriefing for pilots, product information and FAQ [online]. Available on the internet: <https://www.cloudahoy.com/> [APR 2021]
- [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
- [12] Kandra, B. 2015. Letecké prístroje. Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-017-6.

UTILIZATION OF BIOFEEDBACK FOR EXAMINATION OF DIFFERENCES IN REACTION TO WORKLOAD BETWEEN INCHOATIVE PILOTS AND CHOSEN STUDENTS OUTSIDE OF TRAINING PROGRAM

VYUŽITÍ BIOLOGICKÉ ZPĚTNÉ VAZBY PŘI MĚŘENÍ ROZDÍLU REAKCE NA PRACOVNÍ ZATÍŽENÍ ZAČÍNÁJÍCÍCH PILOTŮ A VYBRANÝCH STUDENTŮ MIMO VÝCVIK

Adam Novák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
novak.adam305@seznam.cz

Iveta Škvareková

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

Abstract

Paper describes research applications of biofeedback on psychological resistance analysis. Using scientific methods paper evaluated influence of stress and mental resistance of probands: pilots in training so-called cadets and volunteers not involved in piloting of any kind, so-called „nonpilots“. Devices Muse 2 and CorSence Elite are used to examine R-R intervals, sympathetic/parasympathetic activity ratio and brain activity during each examination sessions. Theses also aim at answering two core hypotheses. Do the pilots have greater mental resistance against stress due to training and frequent exposure to a highly stressful environment? And, are we able to find the answer to the previous question using the biofeedback examination method? Nonpilot group had 2,47 times thinner R-R interval than the pilot group and also had SNS index 1,77 times higher than the one in the pilot group. Unusual data can be observed once we look at the PNS index. According to data calculations, the final PNS index in the pilot group is 0,816 and the nonpilot group 0,7075 This situation can be described by the known effect of physical subsystems which can deviate these indexes. Significant differences between examined values verify hypothesis which says frequent exposure to highly stressful environment causes high mental resistance against stress for pilots. It is also safe to say that cardiologic biofeedback is a reliable tool for complex examination of induces stress levels. It wasn't managed to verify MUSE 2 technology due to inconclusive data. It is believed that distortion of data from MUSE 2 is a consequence of a hygienic face mask. This exposure of its weakness shows brand new information for using such technologies.

Keywords

Electroencephalograph, Heart rate variability, stress, pilots, R-R interval, sympathetic, parasympathetic

1. Úvod

Letecká doprava, potažmo role pilota je hodnocena jako jedna z psychicky nejnáročnějších pracovních pozic na světě. Tuto skutečnost dokazují nejen zkušenosti pilotů, ale také všeobecné postupy a nároky při přijímání pilotů do výcviku. Vrcholná prestiž a společenský respekt povolání letce je sklouben s jistou dávkou exkluzivity. Proto se při výběru práce pilota přihlíží k mnoha specifickým aspektům budoucího povolání. Lze jednoznačně konstatovat, že při výběru tohoto povolání musí uchazeč vykazovat perfektní fyzický i psychický stav. Bez tohoto požadavku nelze vůbec o pozici pilota uvažovat.

V současných podmínkách jsou piloti pravidelně podrobováni testování jak fyzických tak psychických předpokladů.

Výkon pilotů a uchazečů se může v průběhu času vyvíjet a měnit. Co hraje důležitou roli v této oblasti? Stres a psychická odolnost.

Práce, která je zde představena, se zabývá výzkumem psychické odolnosti v kontextu měření pomocí metody biofeedbacku. Tato metoda je známá od 60. let 20. století z výzkumů Joela Kamiyo. Cíl práce se zaměřuje na měření, porovnávání, analyzování

a hodnocení vlivu stresu a psychické odolnosti dvou skupin probandů: začínající piloti ve výcviku „tzv. kadeti „a vybraná skupina studentů mimo pilotní výcvik: „tzv. nepiloti“.

Na základě verifikace dvou hypotéz ověřujeme data naměřená v kontextu zjištění odpovědí na otázky: Mají piloti díky výcviku a pravidelnému vystavování se prostředí s vysokou psychickou zátěží vyšší rezistenci proti stresu než ostatní probandi? A druhou, zda je možné pro nalezení odpovědi využít metodu měření biologické zpětné vazby. Byl vymezený pojem biofeedback (dále BFB), stres, EEG, fenomén Heart Rate Variability(dále HRV) konkrétně vývoj R-R intervalů a poměr aktivity sympatických a parasympatických nervů v čase při simulovaných zátěžových situacích. Použitými přístroji jsou Muse 2 a CorSence Elite jež umožnily naměření.

2. Biofeedback

„Zpětná vazba, anglicky „feedback“ je pojem, který se stal technickým termínem před 60 lety, kdy nastupovala éra kybernetiky. Má téměř stejný význam jako obecnější slovo sebekontrola. I na vyšší hladině nervové činnosti si vědomě

i zcela nevědomě kontrolujeme své chování. Současná moderní elektronika nám dovoluje uvědomovat si své tělesné i psychické stavy lépe než naše vlastní senzorní orgány.“ [8]

Během studií využití biofeedbacku se soustavně klade důraz na spojení určité hodnoty tělesné homeostáze (jejíž udržení je podle BFB zásadní) se schopností učení se, pamatování si a také soustředění.

Lévesque et al. (2006) použili neurofeedback u 20 dětí se syndromem ADHD. Klinický experiment byl doprovázen kontrolní fMRI a Stroopovým testem. Stroopův test je v podstatě test na schopnost potlačovat funkční fixaci, např. slovo „červený“ je napsáno modře. Proband má za úkol říci buď správně barvu, nebo správně přečíst napsané slovo. Tyto dvě informace se díky rozporu mezi barvou písmen a významem slova navzájem pletou. Výsledky byly opět nadějně, latence správné odpovědi se po neurofeedbacku zrychlila. Ukázalo se, že neurofeedback má schopnost zlepšit funkce některých mozkových struktur, např. zvýšit metabolismus horního temenního malého laloku vlevo a přední části již výše jmenovaného gyrus cinguli.“[8]

Výzkumná práce je založena na využití těchto poznatků pro analýzu dysbalance organismu, která je důsledkem reakce na stresovou situaci vůči homeostázi naměřené při klidovém stavu před samotným testem. Pro tyto účely byla použita metoda biofeedbacku z 20. století zvaná vícekanalový biofeedback.

„V současnosti se propojují staré klinické práce i našich neurovědců (Faber, Tuháček, Měšťan, 1973) s klinickými aplikacemi vícekanalového biofeedbacku (EEG + HRV + RSA + EDR + GSR+ EMG), které jsou vedeny s ohledem na individuální psychofyziologický profil klienta.“[8]

Respektive omezenou verzi, při které využijeme EEG (elektroencefalogram) a HRV (heart rate variability).

3. Měřicí přístroje

Práce vyžaduje měření pomocí přesného přístroje, který umožňuje monitorovat mozkovou a srdeční aktivitu probandů v průběhu zátěžových testů. K takovému měření je nezbytné použít systémy elektroencefalogramu (EEG) a elektrokardiogramu (EKG), jež bychom normálně hledali zejména ve specializovaných zdravotnických zařízeních. Vzhledem k povaze práce je pochopitelně nepraktické provádět zátěžové testy v nemocnicích nebo jiných specializovaných zdravotnických institucích, či si pronajímat velice drahá zařízení. Z tohoto důvodu byly ve výzkumné části práce zvoleny přístroje Muse 2 a HRV CorSense Elite.

3.1. MUSE 2

Přístroj Muse 2 je celosvětově rozšířený prostředek pro měření mozkové aktivity, jenž převádí analytické schopnosti EEG do malého zařízení připomínající čelenku. Má široké spektrum využití, od meditační pomůcky, přes tréninkový nástroj ve vrcholových sportech, až po vědecké výzkumy. Právě díky řadě předešlých úspěchů, jednoduché aplikaci a jasně a přesně formulovaných výstupu z měření je Muse 2 ideálním přístrojem pro zaznamenávání, analyzování a vyhodnocování reakce organismu probandů na zátěžové situace.

Z historie zařízení Muse 2 vyplývá, že primárně vzniklo díky úsilí týmu kanadských vědců z technologického institutu Interaxon Inc. Otcem zařízení a také autorem výzkumu měření tělesné aktivity pomocí přístroje Muse 2 je vynálezce a vědec Christopher Allen Aimeone. Muse 2 obsahuje sedm mozkových EEG senzorů. Dva na čele, dva za ušima a tři referenční senzory. Výsledné informace ze zaznamenaných dat se v reálném čase nahrávají do aplikace v telefonním zařízení, kde jsou uloženy, a je možné je dále analyzovat, porovnávat a vyhodnocovat.

3.2. CorSense Elite

Měřicí zařízení CorSense je novinkou na poli měření HRV. Kombinuje nejnovější technologie a znalosti z oboru analýzy srdeční činnosti díky čemuž neinvazivním způsobem získává velice přesná data v reálném čase. Zařízení se pro optimální použití aplikuje na ukazováček, který svírá v oblasti nehtové ploténky a svým tvarem připomíná standardní v medicíně používaný přístroj zvaný oximetr.

Za vývojem CorSense stojí firma HRV Elite založená roku 2017 ve státě Severní Carolina. Společnost se specializuje na vývoj měřicího vybavení a vědeckou činnost v oblasti HRV ve spolupráci s Harvard University, Texas university at Austin a dalšími partnery. Zakladateli jsou Jason Moore, Vivek Menon a Alyssa Moore. CorSense pro měření využívá tři světlené LED vysílače s měnitelnou vlnovou délkou, 5 fotodetektorů viditelného světelného spektra a jeden infračervený detektor. Naměřená data jsou zaznamenávána a uchovávána v přístroji vybaveném kompatibilním softwarem pro další analýzu.

4. EEG

„Z historického hlediska bylo EEG poprvé popsáno v roce 1875 Richardem Catonem, který zaznamenal mozkové vlny u králíků a opic. Caton se u těchto zvířat dále také zabýval studiem lokalizace senzorních částí mozku pomocí světelných záblesků. Předpokládal, že světelné záblesky coby stimuly povedou ke změně mozkové činnosti v oblasti týlního laloku. Z hlediska funkčních stavů centrálního nervového systému a bioelektrické aktivity je důležité, že pro vznik jakéhokoliv elektrického potenciálového rozdílu je rozhodující nerovnoměrné rozložení kationtů a aniontů na rozhraních buňky, respektive mezi vnitřním a zevním prostředím neuronu. Elektrická aktivita mozkové kůry je dána výsledkem sumace především postsynaptických a akčních potenciálů korových neuronů. Významný podíl má aktivita talamických neuronů. Za vznik EEG jsou tedy zodpovědné především korové neurony a talamokortikální okruhy. Mozkovou tkáň si můžeme představit jako určitý prostorový elektrický vodič mající dvě základní vlastnosti, a to stejnosměrný potenciál a impedanci:

Stejný potenciál je dán potenciálovým rozdílem mezi dendrity, axony a těly velkých neuronů. Hodnotí se u něj polarita (+/-) a stabilita.

Impedance představuje odpor mozkové tkáně proti průchodu střídavého proudu. Absolutní hodnota impedance je dána v závislosti na frekvenci střídavého proudu.

Elektroencefalograf je přístroj, který vytváří sumační záznam oscilací elektrické aktivity velkého množství neuronů mozku (s určitým podílem neuroglii). Podle Coloumbova zákona platí, že zaznamenáváme aktivitu především z povrchových

mozkových struktur. Coloumbův zákon vyjadřuje vztah mezi elektrickým nábojem a elektrickou silou. Říká, že velikost elektrické síly, kterou na sebe působí dvě tělesa, je přímo úměrná velikosti nábojů a nepřímo úměrná druhé odmocnině jejich vzdálenosti. Měření EEG se realizuje pomocí elektroencefalografu. Záznamem je elektroencefalogram. Prostřednictvím elektrod, které jsou umístěné na mezinárodně určených místech na povrchu hlavy, se snímá elektrická aktivita mozku, tj. její projevy v podobě mozkových vln. Měřená mozková aktivita z elektrod umístěných na hlavě je pochopitelně nižší než měřená elektrická aktivita elektrod přiložených přímo na povrch mozkové kůry – elektrokortikografie (ECoG). To je dáno tím, že elektrická aktivita musí projít mozkovými plenami, tekutinou – mozkomíšním mokem, kostí a kůží, než se dostane k připojené elektrodě. Elektrokortikogram je měřen v milivoltech (mV), elektroencefalogram v mikrovoltech (μ V). Technicky lze záznam EEG provádět bipolárně a unipolárně. [9]

Pro potřeby výzkumu byl využit bipolární záznam, který poskytuje zařízení Muse 2. Výstupem takového zařízení jsou mozkové vlny, jež znázorňují mozkovou aktivitu. Tyto vlny rozdělujeme podle charakteru situací ve kterých se objevují, nebo jsou zvláště silně aktivní, či naopak potlačené. Pásma vln jsou: Alfa, Beta, SMR, Gama, Delta, Théta, Kappa a Lambda.

Náš zájem při analýze probandů pomocí EEG byl soustředěný na zaznamenání změny mozkové aktivity probandů s důrazem na pomalé vlny alfa a beta. Výstup aplikace poskytnuté týmem vynálezců zařízení MUSE 2 byla frekvenční analýza zaznamenaná do podoby encefalogramu.

Pro vyhodnocení výsledku bylo zásadní zvolit optimální cestu analýzy získaných dat. Standardně jsou získaná data pomocí elektroencefalografu hodnocena čtyřmi způsoby: analýza amplitud vlny, korelační analýza, spektrální analýza a topografické mapování EEG aktivity.

„Analýza amplitud vln je založena na měření průměru amplitud. Můžeme například v testové situaci postupovat takto: po stimulu, na který jedinec reaguje, si změříme velikost každé vlny (resp. vzdálenost od vrcholu k vrcholu – peak to peak) v průběhu 10 sekund a následně spočítáme průměr. To samé však uděláme i v úseku 10 sekund před stimulem, abychom pak mohli dané průměry mezi sebou statisticky porovnat.

Korelační analýza je dalším typem analýzy amplitud vln. Spočívá ve sledování a určení velikosti vztahu (korelace) mezi dvěma či více EEG signály na stejné straně měření v systému 10–20. Dále v tomto zaměření existuje zkřížená korelace, v níž měříme vztahy mezi odlišnými polohami elektrod, například mezi levou a pravou hemisférou mozku.

Spektrální analýza (power spectrum analysis) – je založena na analýze amplitudy a rychlé Fourierově transformaci (FT), jež představuje frekvenční spektrum, které daný signál transformuje do specifických vln funkcí sinusových či kosinusových. Výsledný graf se nazývá výkonově spektrální (power spectrum plot). Spektrální analýza patří mezi nejstarší a nejrozšířenější metody používané při zpracování signálu EEG. Signál získaný z EEG je výrazně nestacionární, a proto je nutné rozdělit ho na kratší časové úseky, které za stacionární lze považovat. Na stacionární úseky již můžeme aplikovat spektrální analýzu, s jejíž pomocí následně transformujeme signál z časové oblasti do frekvenční, což nám umožní určit frekvenční pásma

a jejich zastoupení v signálu. Výstupem může být například uvedené spektrum alfa aktivity.

Topografické mapování EEG aktivity (také brain electrical activity mapping – BEAM) je založeno na simultánním měření a analýze frekvencí EEG a velikosti amplitud evokovaných potenciálů (ERPs) z více umístěných elektrod. Výsledky se pak znázorňují na topografické mapě v podobě barevného označení (hodnoty jsou dány příslušnou barvou), například červená a zelená barva signalizují vysoké frekvence a ostatní barvy, modrá a bílá, signalizují nízké frekvence.“[9]

5. Heart Rate Variability

Princip parametru HRV vychází ze zaznamenání funkce orgánu srdce, určuje hodnoty tlaku v oběhové soustavě a R-R interval srdce. Srdce jako orgán je řízené autonomní nervovou soustavou, která se skládá z nervů sympatických a parasympatických. Nepřímo se do regulace srdeční činnosti zapojují také baroreceptory umístěné v oblouku aorty. Úlohou těchto biologických činitelů je zajišťovat celkovou tělesnou homeostázi. Průběh práce tohoto systému a stejně tak jeho efektivita, není u všech lidí stejná, což dokazuje právě výzkum v oblasti HRV (heart rate variability).

„Každý orgán má vlastní regulaci svého krevního oběhu odvozenou od akutních potřeb dodávky kyslíku a živin a odvodu metabolitu. Jde o regulační mechanismy fylogeneticky nejstarší, nejjednodušší a tedy i nejspolehlivější. Jejich cílem je udržení rovnováhy mezi metabolickými potřebami orgánu a velikostí krevního průtoku orgánem. Látky, jako například kyslík, které jsou nutné pro zajištění metabolismu, nebo naopak vznikající metabolity (především CO_2 , ale i kyselina mléčná, adenosin a další) působí na hladké svaly cév buď přímo, nebo častěji přes endotelové receptory a s nimi spojenou produkci NO a tak ovlivňují jejich tonus. Jde tedy o regulaci humorální fungující na principu klasické zpětné vazby- vazodilatace a tedy i zvýšené prokrvení jsou přímým důsledkem zvýšení metabolismu daného orgánu.“[1]

Metabolická regulace je tedy ve svém jádru záležitostí nervových spojů a v tomto případě hrají největší roli nervy sympatiku, které ovlivňují rychlé (krátkodobé) celkové regulační mechanismy. Právě tyto mechanismy budou ve středu zájmu výzkumu..

Pomocí mikropočítačových systémů je možné zaznamenávat jednotlivé parametry variability srdeční frekvence a následně je interpretovat. Pomocí Fourierovy transformace je signál možný rozdělit do třech základních pásem (Akselrod et al., 1981):

HF (high frequency 0,15–0,40 ms²) odpovídá kardiální vagové aktivitě (Task Force, 1996). Toto frekvenční pásmo se v současnosti používá nejvíce pro predikci aktivity ANS.

LF (low frequency; 0,04–0,15 ms²) ve starších pracích (např. Yeragani et al., 1997) je toto pásmo hodnoceno jako aktivita sympatiku. Současnější výzkumy upozorňují na nejednoznačnou interpretaci tohoto pásma. Zřejmě souvisí s aktivitou jak sympatiku, tak parasympatiku (Moak et al., 2007; Goldstein et al., 2011).

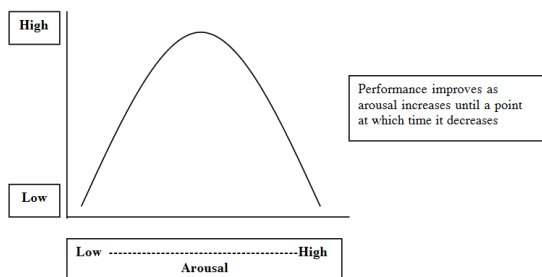
VLF (very low frequency; 0,0033–0,04 ms²) souvisí s termoregulací, periferním vasomotorickým tonem, systémem rennin-angiotensin-aldosteron (Javorka et al., 2008). Jiný pohled

má Eckberg (2008), který se přiklání k aktivitě baroreceptorů.“[2]

6. Stres

Stres je všudypřítomný fenomén, jenž významně ovlivňuje náš organismus, aniž bychom si jeho účinků a vlivů byli vědomi. V současné době jsou stresové stimuly zpravidla obsaženy v každodenním životě. Zrychlení technologií a dynamika životního stylu nás vede do situací souboje se stresory. Patří k nim například obavy o životní prostředí, rostoucí nejistota z budoucnosti, globalizace, ekonomické problémy a všude přítomná rivalita. Definování tohoto jevu není jednoduché, nelze jej zobecnit a projevy jsou velmi individuální. Co je pro jednoho stresem, může být pro druhého ideální aktivací. Stres má obecně negativní působení na lidský organismus a je spojován zejména se stavem úzkosti, frustrací a nestabilitou.

Jestliže je intenzita stresorů v přiměřené míře, dochází k nejlepší aktivaci a podávání optimálního výkonu. V případě, že je ale organismus přetížen, výkon výrazně klesá. Během přiměřené fyzické i psychické stresové zátěže člověk získává vyšší míru rezistence. Nevládnuté stresové situace naopak mohou zapříčinit narušení rovnováhy, způsobující specifické projevy v psychické i fyzické stránce jedince. Z toho vyplývá, že se nejedná o objektivně zhodnotitelnou hodnotu, měřitelnou jako jsou např. fyziologické a fyziognomické projevy, tyto bezesporu můžeme zachytit přístroji a zařízeními.



Obrázek 1: Yerkes-Dodsonův zákon. Zdroj: [23].

7. Metodika měření

V první fázi byly předány probandům formuláře/dotazníky s informacemi, jež vyplnili za účelem odhalení významných ukazatelů, zejména výšku, váhu, věk, BMI index, kvalitu spánku, ale také informace o tom zdali jsou kuřáky, nebo jestli jsou pravidelnými konzumenty alkoholu a pokud ano, v jakém množství konzumují alkohol. Otázky ve formuláři sloužily k odhalení možných rizik, jež mohou mít významný vliv na HRV a zkusit výsledné hodnoty. Po vyplnění dotazníku byly probandovi aplikovány měřicí přístroje za účelem naměření dat.

První měření bylo aplikováno v klidovém relaxačním režimu, bez vlivu rušivých elementů v pětiminutovém intervalu. Ve druhé fázi bylo přistoupeno již k samotnému testování prostřednictvím Cogit testu. Tento nástroj je psychologický, srovnávací test Cogit jakožto počítačová platforma standardizovaného psychologického testu speciálně designovaného pro měření psychologické odolnosti a výkonnosti, předkládající probandům řadu úloh realizovaných pod tlakem krátkých časových intervalů. Tento test je využíván k zátěžovému testování. Bylo naprosto zásadní zvolit takovou metodu, která byla schopna

vyvolat pocit nátlaku na výkon u všech testovaných osob, a to způsobem neměnným pro všechny účastníky testu tak, aby nebyla zásadním způsobem zvýhodněna ani jedna skupina probandů.

Všechny subtesty byly časově omezené a každému probandovi přebíhal přes obrazovku časový informační link pro daný úkol, tak aby byl vyvolán co největší tlak, pocit stresu a osobního nekomfortu. Celé jedno testování, tj. všech osm subtěstů trvalo přibližně 20 min, což je dostatečně dlouhá doba pro naměření námi požadovaných hodnot na přístroji a zároveň je reálně zachytit psychickou zátěž vlivem únavy, akceptace časového limitu a důrazu na výsledné score. Hodnoty, které byly významné a relevantní pro výzkum byly tyto: Poměr aktivity sympatických a parasympatických jevů, změny v R-R intervalech a míra změn v mozkových alfa a beta vlnách probanda.

Pro potřeby výzkumu bylo zvoleno 5 probandů, absolvující pilotní výcvik v různé fázi a dalších 5 probandů výcviku se neúčastnících. Úhrnně výzkum zahrnul 10 probandů obou pohlaví ve věkovém rozpětí 20–50 let.

Původní záměr výzkumné práce bylo otestovat celkem 20 probandů. Toto se bohužel nepodařilo naplnit z hlediska pandemických opatření v čase výzkumu, nicméně lze i takto poskytnout relevantní a jasná data i záznamy o průběhu výzkumu.

Pro vyhodnocení naměřených výstupních dat z měřících přístrojů ve formátu programu Microsoft Excel a textovém souboru byly využity softwary MatLab, Kubios, Mind Monitor a statistický obor Popisná Statistika. Pomocí těchto softwarů lze získat přehledné výsledky a grafy jasně ukazující charakter dat získaných měřeními.

8. Analýza dat a výsledky měření

V první fázi testování probandi vyplnili dotazník, který obsahoval zásadní informace o jejich zdravotním stavu, tak jak je uvedeno výše. Tato data mají přímý vliv na stres člověka a tím pádem mohou ovlivňovat výsledné hodnoty. Podle analýzy dat a výsledků z dotazníku majoritní část probandů tvořili osoby, které by autor zařadil jako standardní populační vzorek a tím pádem z analýzy a vyhodnocení došlo k vyloučení zásadních anomálií ve vstupních datech.

Druhou částí testování tvořilo samotné měření. Prostředí kde testování probíhalo, bylo pro drtivou většinu probandů důvěrně známé a komfortní a tudíž nebyl zaznamenán problém dosáhnout potřebného uvolněného stavu, jehož záznam je následně využitý jako referenční bod pro třetí testovou část.

Tabulka 1: Hodnoty probandů naměřené v klidové fázi, červené hodnoty značí neprůkazné měření. Zdroj: Autori.

KLID						
Číslo probanda	R-R interval [ms]	SNS	PNS	Alfa	Beta	
P1	648,00	2,65	-2,00			PILOTI
P2	784,00	-0,09	0,82	74,33	61,61	
P3	652,00	1,02	0,33	78,20	68,58	
P4	596,00	1,91	-0,42	65,28	67,12	
P5	695,00	0,84	0,51			
P6	697,00	1,53	-1,17	83,85	79,52	NEPILOTI
P7	755,00	0,35	-0,13			
P8	876,00	-0,45	1,20			
P9	797,00	0,80	1,13			
P10	886,00	-0,71	1,81	64,72	57,06	

Tabulka 2: Hodnoty probandů naměřené v zátěžové fázi, červené hodnoty značí neprůkazné měření. Zdroj: Autori.

TEST						
Číslo probanda	R-R interval [ms]	SNS	PNS	Alfa	Beta	
P1	598,00	2,85	-2,12			PILOTI
P2	787,00	-0,03	0,30	77,52	65,87	
P3	654,00	1,30	-0,85	83,38	80,87	
P4	569,00	3,10	-2,3			
P5	637,00	1,02	0,13			
P6	717,00	2,06	-1,43	82,346	70,629	
P7	736,00	0,62	-0,32			NEPILOTI
P8	654,00	1,20	-0,77			
P9	761,00	1,05	0,72			
P10	704,00	0,62	0,50	80,678	72,513	

8.1. Analýza výsledků skupiny pilotů

Během klidové fáze byl srdeční R-R interval v případě měření pilotů v hodnotách mezi 784ms, reprezentující maximální dosaženou hodnotu naměřenou u druhého naměřeného probanda (dále P2), a 596ms reprezentující minimální hodnotu prvního naměřeného probanda (dále P1). Zde maximální hodnota vypovídá o pomalejší aktivitě srdce, neboť interval mezi R fázemi je větší. Naproti tomu nejnižší interval vyjadřuje rychlou činnost srdce. Střední hodnota pro klidové měření pilotů byla vypočítána 675ms.

SNS index se při této klidové fázi pohyboval v rozmezí 2,65 (P1) a -0,09 (P2). Jak vychází z teoretické části, činnost sympatických nervů je spojena s autonomní reakcí těla na stres, diskomfort a nebezpečí, zahrnuje autoregulační mechanismy, které v takových případech mají za účel připravit tělo na fyzicky či psychicky náročnou situaci. Vyšší číslo tedy signifikantně indikuje vyšší míru diskomfortu a stresu. Střední hodnotou SNS indexu při klidovém měření pilotů je 1,226.

Poslední zkoumanou veličinou byl PNS index nesoucí informaci o aktivitě parasympatických nervů. Tyto nervy působí proti účinkům sympatických nervů, uklidňují srdeční rytmus a směřují organismus do homeostáze. Krajní hodnoty PNS indexu při klidovém měření byly v rozmezí -2 (P1) a 0,82 (P2). Střední hodnotou střední hodnota PNS indexu činila -0,152.

Alfa a beta vlny dosahovaly ve střední hodnotě absolutního průměru hodnot 72,6 pro alfa vlny a 65,8 pro vlny beta.

Ve třetí fázi kdy byl vyvolán indukovaný stres účinkem výše popsaného zátěžového testu. Data z přístroje CorSense byla analyzována použitím softwaru Kubios HRV verze Standard.

Znamenány byly výrazné odchylky oproti klidovému stavu. U všech testovaných případů došlo k reakci všech orientačních hodnot ve spektru ukazatelů hladiny stresu. V případě probandů ze skupiny pilotů R-R intervaly reagovaly nejednoznačně. Z pěti měření ve dvou případech došlo k nárůstu hodnot R-R intervalů a ve zbývajících třech případech k poklesu hodnot. Nejvyšší hodnota R-R intervalu naměřená pilotům během zátěžové fáze byla 787ms (P2) a nejnižší 569ms v případě čtvrtého naměřeného probanda (dále P4). Střední hodnota R-R intervalů pro zátěžové měření byla naměřena 649ms.

SNS indexy v zátěžovém testování reagovaly naprosto jednoznačně, právě tak, jak se očekávalo, tedy vzestupem. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána 3,1 (P4) a nejnižší -0,03 (P2), střední hodnota činila 1,648.

PNS index při zátěžovém měření jednoznačně potvrzuje literaturou popsané teoretické předpoklady, což dokazují

výsledky měření skupiny pilotů. Ve všech případech došlo k poklesu aktivity. Nejnižší naměřená aktivita byla určena na -2,3 (P4) na druhé straně spektra tedy v pozici nejvyšší naměřené hodnoty vystupuje do pozornosti číslo 0,3 (P2). Střední hodnota PNS indexu pro skupinu pilotů v zátěžovém testu činí -0,968.

Pro získání jednoznačných dat o vlivu stresu na skupinu pilotů je nezbytné provést výpočty, jež poskytl informaci o absolutní hodnotě matematické vzdálenosti mezi stavem organismu během druhé, klidové, fáze měření a třetí fázi měřenou během psychické zátěže. Rozdíl středních hodnot činil 26ms v případě R-R intervalů, 0,382 pro SNS a 0,816 pro PNS.

V tomto případě, tedy měření zátěžových hodnot se alfa a beta vlny ve střední hodnotě absolutního průměru hodnot rovnaly 80,4 pro alfa vlny a 73,4 pro vlny beta.

8.2. Analýza výsledků skupiny „nepilotů“

Totožné výzkumné měření podstoupila i skupina studentů a zaměstnanců UNIZA, kteří ovšem neabsolvovaly a ani se nenachází v procesu pilotního výcviku, v práci je tato skupina označena pro zjednodušení jako „nepiloti“.

Jak je patrné z výsledných výzkumných dat a tabulek, došlo v jednom případě u skupiny „nepilotů“ k extrémnímu vychýlení naměřených hodnot. Z důvodu negativního vlivu tohoto vychýlení na celkové měření bylo rozhodnuto o nezařazení posledního měřeného probanda (dále P10) do výpočtů.

Stejně jako u předchozí skupiny došlo v klidové fázi měření k naměřením hodnot R-R intervalů, SNS indexu a PNS indexu. R-R interval skupiny „nepilotů“ se během druhé fáze testování pohyboval mezi maximem 876ms v případě osmého měřeného probanda (dále P8) a minimem 697ms v případě šestého naměřeného probanda (dále P6). Střední hodnota R-R intervalu se během této fáze při výpočtu vyšla 721,25ms.

Dalším měřeným parametrem, SNS index, se napříč probandy ze skupiny „nepilotů“ pohyboval v druhé fázi měření mezi hodnotami maxima 1,53 (P6) a minima -0,45 (P8). Střední hodnota byla statisticky určena a rovná se číslu 0,5575.

Nakonec druhé fáze, PNS index jehož maximální hodnota dosahovala 1,2 (P8). Minimální hodnota se v tomto případě rovnala -1,17 (P6). Statisticky získaná střední hodnota byla vyjádřena jako 0,2575.

Ve skupině „nepilotů“ byly hodnoty EEG při klidových podmínkách naměřeny v hodnotách 74,3 v případě alfa vln a 68,3 v případě beta vln.

Třetí fáze měření, tedy získávání dat při vystavení členů skupiny „nepilotů“ psychické zátěži, není jinak více jednoznačná v hodnotách R-R intervalů, než tomu bylo u předchozí skupiny. Ve třech případech ze čtyř zaznamenáváme pokles R-R intervalů a v jednom případě nárůst. Odchylky intervalů byly při závěrečném měření výrazné, maximum 761ms v případě devátého měřeného probanda (dále P9) a minimum 654ms (P8). Střední hodnota 649ms.

SNS index měl své maximum 2,06 (P6) a minimum 0,62 v případě sedmého měřeného probanda (dále P7). Střední hodnota 1,2325.

Maximum indexu PNS sahalo do hodnoty 0,76 (P9) a minimum -1,43 (P6). Střední hodnota se rovnala -0,45.

Při třetí fázi měření byly v zátěži naměřeny hodnoty EEG v číslech 81,5 v případě alfa vln a 71,6 v případě beta vln.

V tomto případě jsou rozhodující hodnotou číselné vzdálenosti hodnot naměřených v klidové fázi a těch, naměřených v zátěžové, třetí fázi. Rozdíl středních hodnot činil 64,25ms v případě R-R intervalů, 0,675 pro SNS a 0,7075 pro PNS

9. Závěr

Během měření bylo zjištěno, že ve skupině pilotů statický průměr rozdílů hodnoty R-R intervalů při porovnávání dat ze sekvence klidového měření a měření pod stresem činil 26 milisekund, na druhé straně stejná hodnota vypovídající o výsledku měření skupiny „nepilotů“ se rovnala 64,25 milisekund. Průměr R-R intervalů ve skupině „nepilotů“ byl 2,47 krát nižší než ve skupině pilotů. Tato data významně vypovídají o vyšší míře aktivace tělesných procesů souvisejících s reakcí těla na zvýšený stres.

Druhým hodnoceným parametrem v této práci byl SNS index a PNS index reprezentující poměr aktivity sympatických a parasympatických nervů. Měření ve skupině pilotů odhalilo rozdíl průměrů SNS indexu, rovnající se hodnotě 0,382. Zde se jedná o nárůst SNS indexu o zmíněnou hodnotu, jak tělo reaguje na narůstající zátěž. Průměr rozdílů SNS indexu ve skupině „nepilotů“ byl vypočítán na 0,675. Na první pohled je patrný rozdíl v těchto dvou skupinách, kde hodnota skupiny „nepilotů“ byla 1,77 krát vyšší, než jaká byla ve skupině pilotů. Nestandardní vývoj bylo možno pozorovat u PNS indexu. Statistický výpočet určil průměrný rozdíl ve skupině pilotů na 0,816, zatímco „nepilotům“ byla vypočítána hodnota 0,7075.

Tento zachycený fakt lze vyvodit z parametrů účinku tělesných subsystémů, jenž mohou vychylovat hodnoty PNS a SNS indexu. Nebo mohlo jít o zkreslení hodnot vlivem nízkého počtu probandů, čímž je omezená možnost ve výpočtech reagovat na výrazné odchylky, mezi které rozhodně patřil výsledek čtvrtého měřeného probanda (P4) s hodnotou PNS indexu -2,3 v zátěžovém měření.

Z uvedených dat popsaných a zachycených výzkumných výsledků můžeme verifikovat první hypotézu, zda mají piloti díky výcviku a pravidelnému vystavování se prostředí s vysokou psychickou zátěží vyšší rezistenci proti stresu než ostatní měření probandů. Signifikantní rozdíly mezi sledovanými hodnotami názorně ověřují tuto hypotézu. S tímto výsledkem je ovšem nutné pracovat obezřetně, vzhledem k nedostatku probandů účastnících se výzkumu z důvodu pandemické situace v době provádění výzkumné části této práce.

Pro výzkum, jehož podstatou je odpovědět na otázku relevance zvolených měřících přístrojů a následné metody měření, lze z výzkumu vyvodit následující závěr.

Ze všech výše uvedených stanovisek, popisů zkušeností lze vyvodit, že kardiologická biologická zpětná vazba je spolehlivým nástrojem pro komplexní měření indukovaného stresu. Poskytuje poměrně přesná, spolehlivá data i relevantní výstupy, s nimiž lze dále pracovat.

Snaha verifikovat technologii MUSE 2 bohužel narazila na překážku nedostatku kvalitních dat a velice nízkého počtu probandů, kteří se mohli za dané epidemiologické situace účastnit výzkumného měření. Pohled na naměřené hodnoty odhaluje nesoulad se základními teoretickými znalostmi chování EEG vln alfa a beta, které se objevují v odborné literatuře. Ta popisuje reakci alfa vln v zátěži trendem poklesu hodnoty aktivity. Na druhou stranu beta vlny by měly svou aktivitu posilovat.

Jak je ale možné vysvětlit si tyto neprůkazné hodnoty odchylující se od literárních základů? S velkou dávkou pravděpodobnosti se jedná o důsledek měření s nasazenou hygienickou rouškou. Vzhledem k pandemické situaci bylo u probandů vyžadováno, aby po celou dobu výzkumu měli nasazenou ochranu dýchacích cest. Jejich uchycení za uši probanda způsobilo, že senzory přístroje MUSE 2 zpravidla doléhají na horní oblast u kořene ucha, byly blokovány uchycením této roušky a nedosáhly tak potřebného kontaktu s pokožkou probanda. Prokázat funkčnost neurologického biofeedbacku při použití komerčního MUSE 2 se tedy nepodařilo. Nicméně značná část odborné veřejnosti tuto analytickou pomůcku schvaluje a je tak pravděpodobné, že za jiných podmínek by přístroj bezchybně fungoval. Toto dává zcela nový pohled na používání a nové využití technologie. Tento fakt a závěr výzkumu nebyl do současné doby žádnou literaturou ani jiným odborným textem zachycen.

Reference

- [1] O. KITTNAR, Lékařská fyziologie, Praha: Grada, 2011.
- [8] R. a. M. N. PTÁČEK, Biofeedback v teorii a praxi, Praha: Grada Publishing, 2017.
- [9] M. a. R. P. OREL, Vyšetření a výzkum mozku: pro psychology, pedagogy a další nelékařské obory, Praha: Grada, 2017.
- [23] M. A. Staal, „Stress, Cognition, and Human Performance: A Literature Review and Conceptual Framework,“ Ames Research Center, Moffett Field, California, 2004.

SIMULATIONS OF AERODYNAMICS

SIMULÁCIE V AERODYNAMIKE

Miroslav Novák

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
novak66@stud.uniza.sk

Martin Bugaj

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

Abstract

The aim of the paper is to approach the issue of simulations in aerodynamics. To describe the physical rules and basic mathematical equations, which are essential in the use of computing techniques. The paper deals with CFD (Computational Fluid Dynamics) and informations which are necessary for its understanding, the author further describes different software programs used for simulation purposes. By means of analyzing technical papers, the author compares and describes software considering to their practical use. The author also describes the aerodynamic tunnels and clarifies the basic issues related to aerodynamic tunnels and discuss factors that affect the resulting measurement quality. The author deals with methods of measuring individual physical quantities that are the interest of simulation or measurement. At the end of the paper, the author compares the specific aerodynamic tunnels and the possibilities of measurements that aerodynamics tunnels provide.

Keywords

Aerodynamics, CFD, Wind tunnel

1. Úvod

Aerodynamika predstavuje hlavný vedný odbor týkajúci sa letectva. Vďaka poznatkom z tohto odboru máme dostatok informácií týkajúcich sa podmienok potrebných na samotný let lietadla. Poznatky a informácie z tejto oblasti je možné uplatniť aj v iných odvetviach, ako napríklad automobilový priemysel alebo stavebné inžinierstvo, kde zohráva podstatnú úlohu.

Cieľom bakalárskej práce je teoreticky priblížiť a preskúmať základné možnosti simulácií, predstaviť dôležité fyzikálne zákonitosti a matematické rovnice, ktoré je nutné vhodným spôsobom implementovať v prípade využitia výpočtovej techniky. S vývojom výpočtovej techniky sa rozšírila aj technológia CFD, teda výpočtová dynamika tekutín. V praxi je však vyžadovaná znalosť tejto technológie a jej pozadia tak, aby bola správne aplikovaná a poskytovala možnosť získať výsledky blízke realite aplikovateľné v praxi. V súvislosti s technológiou CFD je autorovým cieľom stručne a vecne popísať softvéry využívajúce sa na simulácie v aerodynamike a zhodnotiť ich použitie.

V práci sa autor venuje odbornej terminológii a zákonitostiam aerodynamiky v teoretickej rovine. Následne venuje pozornosť technológii CFD, objasňuje jej účel, výhody, bližšie popisuje faktory, ktoré ovplyvňujú celkovú kvalitu výslednej simulácie. V súčasnosti je vzhľadom na komplexnosť a komplikovanosť skúmaných modelov dôležité nachádzať isté typy kompromisov a matematických zjednodušení, ktoré treba citlivo aplikovať tak, aby bol výsledok správny a v prvom rade, aby bol splnený účel samotnej počítačovej simulácie a to priblíženia správania sa v reálnom prostredí.

V ďalšej časti sa autor venuje aerodynamickým tunelom. Bližšie popisuje typy aerodynamických tunelov a ich využitie. Venoval sa jednotlivým častiam, z ktorých sú zložené a popísaniu ich účelu. Následne sa venoval technikám a systémom slúžiacich pre meranie potrebných fyzikálnych veličín ako je rozloženie tlaku alebo meraniu silového pôsobenia na skúmaný model a bližšie objasnil možnosti upevnenia modelu v tuneli. V poslednej časti autor objasnil možnosti týkajúce sa vizualizácie prúdenia a bližšie predstavil techniky využívané v súčasnosti. Na záver predstavil európske, strategicky dôležité aerodynamické tuneli, ich súčasné využitie a objasnil hlavné rozdiely.

2. Úvod do aerodynamiky

Aerodynamika je rozsiahly vedný odbor a nespochybniteľne jedným z najdôležitejších vedeckých odvetví pri návrhu lietadiel a ich jednotlivých častí. Je využívaná v rôznych oblastiach týkajúcich sa aerodynamiky vozidiel, stavby budov, navrhovaniu lodí, veterných turbín a v neposlednom rade aj lietadiel samotných. Aerodynamika je úzko spojená s hydrodynamikou. Práve táto vlastnosť predurčuje využitie zákonov hydromechaniky v simuláciách pre určovanie konkrétnych parametrov predmetov, skúmaných modelov a ich vlastností, ich správanie sa pri obtekaní kvapalinou alebo plynom.

Aerodynamika je veda zaoberajúca sa pôsobiacimi silami na teleso, ktoré je obtekané prúdom vzduchu a ich vzájomnou interakciou. Umožňuje pilotovi pochopiť základy letu, jeho ovládanie a predpokladať správanie lietadla v každej fáze letu. Od základných aerodynamických vlastností sa odvíjajú vlastnosti lietadla pohybujúceho sa vo vzduchu. Neustále dynamické silové pôsobenie na lietadlo ovplyvňuje jeho stabilitu a riaditeľnosť pri rôznych uhloch nábehu, tým pádom existujú podmienky, za

ktorých je lietadlo schopné bezpečného letu a podmienky nebezpečné pre let lietadla, pri ktorých môže dôjsť k strate kontroly a vztlaku a v najhoršom prípade k pádu.

3. Mechanika tekutín

Mechanika tekutín je vedný odbor, ktorý sa zaoberá správaním tekutín a plynov, ktoré môžu byť v pokoji (hydrostatika) alebo v pohybe (hydrodynamika).

Pod pojmom tekutina môžeme rozumieť kvapaliny aj plyny. Od tuhých látok sa podstatne odlišujú pohyblivosťou častíc. Ich častice sa môžu navzájom relatívne voľne pohybovať. Kvapaliny je takmer nemožné stlačiť, pretože ich molekuly majú vysoký odpudivý charakter pri malých vzdialenostiach a medzi ich základné vlastnosti patrí ich schopnosť kopírovať tvar telesa, v ktorom sa nachádzajú.

Plyny sú naopak relatívne ľahko stlačiteľné z dôvodu veľkej vzdialenosti ich molekúl a úplne vypĺňajú nádobu, v ktorej sa nachádzajú. Jednou zo základných vlastností kvapalín a plynov teda je, že nemajú stály tvar.

Vo všeobecnosti môžeme povedať, že kvapaliny sú nestlačiteľné a plyny sú. Stlačiteľnosť kvapalín však musíme zobrať do úvahy, pokiaľ je pod veľmi vysokým tlakom, zatiaľ čo pri plynoch stlačiteľnosť môžeme zanedbať, pokiaľ je tlaková zmena malá. Jednou z ďalších vlastností tekutín je viskozita. V jednoduchosti viskozitu opisujeme ako trenie medzi dvoma vrstvami tekutiny. Jej vplyv si môžeme znázorniť napríklad pri porovnaní vody a oleja. Voda, ktorá má nízku viskozitu je tekutejšia a naopak olej, ktorý má viskozitu vysokú je viditeľne hustejší.

Riešenie dynamiky tekutín je v súčasnosti z pohľadu matematiky veľmi zložitá, aktuálne sa tieto problémy riešia pomocou výpočtovej techniky. Odvetvie, ktoré sa zaoberá touto problematikou sa nazýva výpočtová dynamika tekutín (CFD – Computational Fluid Dynamics) [1][2].

4. Computational fluid dynamics

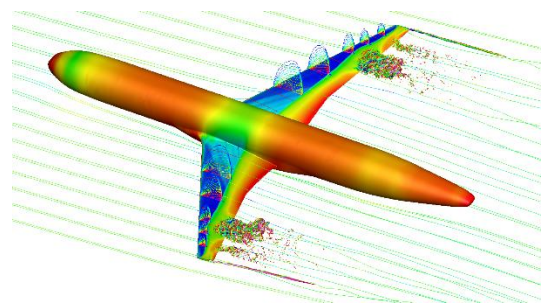
CFD je vedný odbor založený na poznatkoch z fyziky, a to predovšetkým z mechaniky tekutín, termomechaniky, numerickej matematiky, ktorého hlavným účelom je za pomoci vhodného softvéru a výpočtovej techniky simulovať fyzikálne javy rôzneho druhu a náročnosti. Počítače sa využívajú na vykonávanie výpočtov potrebných na simuláciu interakcie kvapalín a plynov s predmetmi rôzneho charakteru. Použitím výkonnejších počítačov vieme dosiahnuť lepšie a hlavne presnejšie dáta, ktoré majú rozhodujúci vplyv pri reálnom využití daného modelu, ktorý môže byť následne overený v prostredí veterného tunela. CFD programy sa v súčasnosti považujú za štandardné numerické nástroje pri vývoji budov, vozidiel, mostov a lietadiel, takže majú naozaj široké využitie v inžinierstve. Dokážeme nimi simulovať nielen správanie prúdu tekutiny, ale aj prenos tepla, prenos hmoty (vyparovanie alebo rozpúšťanie), zmenu skupenstiev (zamrzanie, topenie alebo var), chemické reakcie, mechanický pohyb alebo namáhanie a ohýbanie pevných konštrukcií (viď. Obrázok 1) [3][4].

Výhody využitia CFD môžeme zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- poskytuje podrobné informácie pre pochopenie vlastností prúdu, úbytkov hmoty, prenosu hmoty a tepla a separácii

častíc. Toto všetko dáva inžinierom oveľa lepšie a hlbšie poznatky toho, čo sa deje v konkrétnom procese,

- umožňujú vyhodnotiť geometrické zmeny modelov oveľa rýchlejšie a lacnejšie ako laboratórne testovanie,
- nachádzame odpovede na otázky typu „čo keby“ veľmi rýchlo,
- zmenšujú sa problémy s mierkou modelu, pretože modely podliehajú zákonom základnej fyziky a sú nezávislé od veľkosti mierky,
- možnosť simulovať podmienky, v ktorých nie je možné zabezpečiť podrobné merania napríklad kvôli vysokým teplotám [4].



Obrázok 1: Výsledná ilustrácia modelu pri využití technológie CFD, rozloženia tlaku a vírových štruktúr. Zdroj: [http://www.cfd4aircraft.com/images/ddes_fancy.png].

4.1. Turbulentné modely

Pri turbulentných prúdeniach tekutiny vznikajú fyzikálne javy, ktoré sa musia vhodne a korektne simulovať. Miešanie prúdov a úplav za telesom sú znakmi voľnej turbulencie, zatiaľ čo turbulentná medzná vrstva je závislá od obtekaného povrchu. Povrchy sú z väčšej časti obtekané turbulentným prúdením v porovnaní s laminárnym prúdením, ktoré sa vyskytuje v nábehovej časti prúdenia.

Oba typy týchto prúdení je treba vnímať samostatne a vnímať ich špecifiká. Tento fakt komplikuje aj využitie počítačových simulácií, ktoré so sebou nesú neistotu vo výsledku. V mechanike tekutín existuje viacero modelov, ktorých rozdiel spočíva v presnosti, v zložitosti a tým v závislosti od výpočtového výkonu počítača a celkových nákladov. V tejto časti sa teda budeme venovať turbulentným modelom využívaných pri simuláciách. V tejto časti práce objasním princípy, ktoré sú uplatnené u jednotlivých turbulentných modeloch, časovú a výpočtovú náročnosť a vhodnosť ich uplatnenia na určité geometrie.

4.1.1. DNS (Direct numerical simulation)

DNS je metóda, ktorá sa riadi úplnými Navier-Stokesovými rovnicami. Prúdenie je simulované v priestore a čase a nie je potrebný žiadny zjednodušujúci model prúdenia, preto sa táto metóda pokladá za najjednoduchší koncept pre simuláciu. Pri tomto modeli simulujeme prúdenie vo všetkých mierkach od najväčších po najmenšie. Z dôvodu využitia veľmi jemnej siete a veľkého počtu buniek s veľmi malým časovým krokom má DNS extrémne veľké nároky na výpočtový výkon počítača a využíva

sa len v špeciálnych prípadoch na výskumné účely. DNS je však možné využiť v oblasti malých Reynoldsových čísel rádo vo 6000 [3][5][6].

4.1.2. Simulácia veľkých vírov (Large Eddy Simulation)

Model simulácie veľkých vírov je aktuálne jeden z najvyužívanejších. Pri simulácii sa využíva filtrovaná Navier-Stokesova rovnica. Model je založený na Kolmogorovej teórii podobnosti, kde sa vírivé pohyby veľkých mierok prepočítavajú a vírivé pohyby mierok malých modelujú. Časové kroky sú taktiež väčšie a preto je možné realizovať výpočty aj pre väčšie Reynoldsove čísla v porovnaní s DNS, kedy je v prípade LES potrebných len približne 3 % výpočtového výkonu oproti DNS [3][4][17].

4.1.3. Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS)

Rovnice RANS sa riadia prenosom spriemerovaných prietokových veličín, pričom sa modeluje celý rozsah mier turbulencie. Tieto spriemerované Navier-Stokesove rovnice sú založené na báze štatistického modelu turbulencie. Dôsledkom spriemerovania rovníc je oddelenie strednej hodnoty veličín od fluktučných zložiek a následnej úpravy tvaru pre stredné časové hodnoty, ktoré sú formálne zhodné s pôvodnými rovnicami, ale obsahuje fluktučné zložky rýchlosti a iných veličín, ktoré je možné modelovať. Spôsob modelovania založený na RANS preto výrazne znižuje potrebný výpočtový výkon, zdroje a je všeobecne používaný v praktických inžinierskych aplikáciách. Existuje viacero druhov RANS modelov, ktoré zjednodušujú problém prídávaním ďalších transportných rovníc (k-ε model, k-ω model, k-T model, URANS) [18].

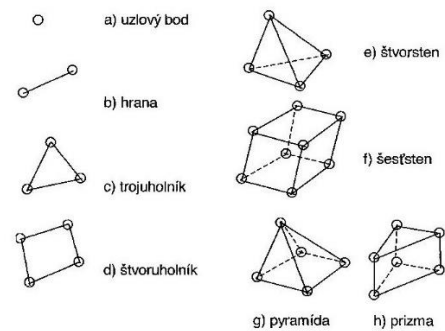
4.1.4. Detached Eddy Simulation (DES)

Metóda DES predstavuje hybridný model medzi metódami LES a RANS a kombinuje výhody oboch týchto metód a zároveň sa snaží minimalizovať ich nedostatky. Pri tomto modeli sa uplatňuje prístup modelu RANS v oblastiach medznej vrstvy a prístup modelu LES sa uplatňuje v ostatných oblastiach, hlavne však v oblasti jadra turbulентného prúdenia, kde vírivé prúdenie veľkej mierky zohráva najväčšiu úlohu. Model DES bol navrhnutý pre prúdenia ohraničené stenami pri vysokých Re, kedy by použitie modelu LES bolo nevhodné a príliš drahé. Použitie modelu si však môže stále vyžadovať značný výkon počítača [19].

4.2. Diskretizácia oblasti prúdenia

Pre počítačové riešenie rovníc CFD je potrebné, aby bol priestor, v ktorom sa počíta prúdenie diskretizovaný. Inými slovami sa z určujúcich rovníc diskretizáciou stávajú algebrické rovnice (matematický model). Jednoznačné riešenie dostaneme definovaním začiatkových a okrajových podmienok, pomocou ktorých získame potrebné informácie o prúdiacej tekutine v ľubovoľnom mieste a čase [5].

Priestor, v ktorom sa riešia rovnice prúdenia sa pokrýva uzlovými bodmi. Spojením dvoch uzlových bodov získame hranu. Z hrán dokážeme vytvoriť rôzne prvky do dvojrozmernej alebo trojrozmernej siete, ktorá následne tvorí konečný počet prvkov (2D,3D), v ktorých budú počítané veličiny (viď. Obrázok 2) [3].



Obrázok 2: Typy prvkov tvoriace sieť. Zdroj: [12].

Hlavnými charakteristikami siete je množstvo buniek, veľkosť buniek, geometrickým tvar a kvalita. Siete môžeme všeobecne rozdeliť na siete štruktúrované, neštruktúrované, hybridné a zonálne.

Výber typu siete a jej kvalita má náležitý vplyv na relevantnosť výsledku a dobu výpočtu. Pod kvalitnou sieťou rozumieme sieť, ktorá je dostatočne jemná na zachytenie modelovaného deja a jej bunky, čo najmenej podliehajú tvarovej deformácii s pravidelným rozložením a pravidelnou veľkosťou [3][5][7].

5. Metodika a metodológia práce

5.1. Charakteristika objektu skúmania

Hlavným cieľom bakalárskej práce je preskúmať problematiku CFD simulácií v aerodynamike a predstaviť rôzne softvérové možnosti, ich vzájomné porovnanie a poskytnutie informácií o ich popredných alebo záporných vlastnostiach, a to prostredníctvom preskúmania a následnej analýzy recenzovaných odborných prác venujúcich sa simuláciám v aerodynamike. Preskúmať praktické overenie simulácií CFD v prostredí aerodynamických tunelov a analyzovať konkrétne aerodynamické tunely a ich možnosti.

5.2. Spôsob získavania údajov a ich zdroje

Samotnému spracovaniu a porovnaniu jednotlivých CFD simulácií predchádzalo podrobné štúdium dostupnej literatúry, výskumov a vedeckých recenzovaných relevantných zdrojov zaoberajúcich sa skúmanou problematikou, či už v zahraničí alebo na Slovensku. Vyhľadávanie bolo uskutočnené prostredníctvom využitia internetu a relevantných stránok. Práce boli zvolené zámerným výberom, kde hlavným kritériom bolo využitie softvérového programu na simulácie aerodynamických javov. Analýze bolo podrobených tridsať výskumných prác, kde išlo o rovnomerné zastúpenie zo Slovenska aj zahraničia. Bakalárska práca má prevažne teoretický charakter s prvkami explorácie, ktorá bola využitá najmä v rámci porovnávania jednotlivých softvérov. Autori bakalárskej práce čerpal poznatky a zistenia o softvérových možnostiach simulácií a o aerodynamických tuneloch od viacerých autorov, ktoré následne porovnával vzhľadom na ich praktické využitie.

5.3. Metódy vyhodnotenia

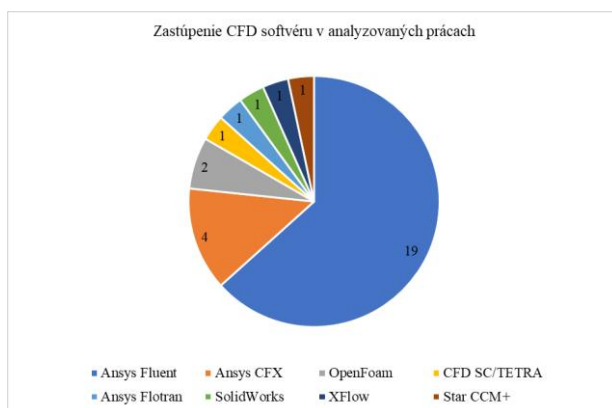
V bakalárskej práci autor použil metódu analýzy, teda podrobný rozbor jednotlivých výskumných prác a teoretických poznatkov. Syntézu, ktorej cieľom je združenie menších častí do zmysluplného celku a následne bola aplikovaná metóda porovnania jednotlivých softvérových programov vzhľadom na spoločné alebo odlišné vlastnosti. V rámci štatistického spracovania autor použil deskriptívnu (popisnú) štatistiku využívajúcu grafy a tabuľky na sprehľadnenie získaných údajov z analýzy.

6. CFD softvér

Numerická vizualizácia je platforma, ktorá poskytuje jednoduchší spôsob analýzy veľkých, zložitých a viacrozmerných informácií. Výpočtová dynamika tekutín, teda CFD, kombinuje mechaniku tekutín s touto platformou a umožňuje simulovať správanie prúdenia stlačiteľného aj nestlačiteľného média. Technológiou možno vypočítať teplotu, rýchlosť, tlak, koncentráciu kontaminácie a ďalšie vlastnosti kvapaliny zobrazené vhodným spôsobom. Výsledky pomáhajú inžinierom rýchlo a efektívne vylepšiť a dokončiť navrhovaný model [8].

Užívateľ má mnoho možností pri výbere samotného simulačného softvéru. Užívateľ sa musí rozhodnúť, či využije voľne dostupný softvér ako je OpenFOAM, prípadne využije komerčný softvér v podobe Ansys Fluent, ktorý je častokrát využívaný na školské účely vďaka jeho študentskej verzii a veľmi dobrému užívateľskému prostrediu. Softvér Ansys Fluent inak predstavuje finančne veľmi náročnú možnosť, ktorá sa pohybuje v rádoch tisícok eur za licenciu. OpenFOAM je naopak zadarmo, no neponúka atraktívne riešenie pre laikov, ktorí musia ovládať programovací jazyk C++ pre porozumenie a prácu v tomto programe.

V rámci analýzy som zistil, že vo väčšine prác týkajúcich sa simulácie aerodynamických veličín bol využitý softvér Ansys Fluent (viď. Graf 1). Bližší popis ostatných CFD softvérov sa nachádza v bakalárskej práci. V nasledujúcej kapitole popisujem iba softvér Ansys Fluent



Graf 1: Zastúpenie CFD softvéru v analyzovaných prácach. Zdroj: Autori.

6.1. Ansys Fluent

Ansys Fluent je v súčasnosti jeden z najpoužívanejších softvérov využívaným predovšetkým pre simuláciu obtekania modelov tekutinou. Ansys ponúka niekoľko balíkov, v ktorých je zahrnutý samotný Fluent. CFD Premium Bundle obsahuje Fluent,

Workbench (softvér spravujúci rôzne nástroje) SpaceClaim (CAD nástroj, ktorý je teraz samostatným softvérom), Ensignt (softvérový balík pre následné spracovanie), CFX (ďalší CFD riešiteľ) ako aj CFD-Post (nástroj pre následné spracovanie). Ansys teda ponúka širokú škálu softvéru, ktorý poskytuje prostredie pre samotné vytvorenie modelu, jeho upravenie pred samotnou simuláciou, diskretizáciu, simuláciu a následné spracovanie výsledkov [9].

Ansys Fluent ponúka veľmi dobré užívateľské rozhranie, ktoré je intuitívne a jednoduché. Pred samotnou simuláciou je potrebné určiť okrajové podmienky, vlastnosti prúdenia, nastavenie riešiteľa alebo podmienky zastavenia. Zadávanie príkazov je možné aj vďaka prítomnosti príkazového riadku, kde sa môžu zobraziť aj prípadné chyby v priebehu simulácie. Keď sú všetky potrebné podmienky správne definované, je možné simuláciu spustiť priamo z aplikácie Fluent alebo pomocou skriptu. Po dokončení môžu byť výsledky analyzované buď z prostredia Fluent, prostredníctvom CFD-Post alebo Ensignt.

Ansys Fluent je veľmi obľúbený aj vďaka širokej databáze materiálov a fyzikálnych možností. K dispozícii sú RANS modely pre časovo stále prúdenia, laminárne alebo turbulentné prúdenie, modely pre riešenie chemických reakcií a mnoho iných. Takisto disponuje aj modelmi DES a LES. Ansys integroval aj turbulentné modely ako je GEKO (hybridný model K-Omega SST a K-Epsilon Realizable). Zaujímavosťou je prítomnosť modelu VOF-to-DPM, ktorý sa využíva pri simulácii rozprašovania kvapaliny pomocou dýz [9].

Prítomnosť funkcie na importovanie geometrie umožňuje priamy import univerzálnych súborov CAD ako je Parasolid, aj keď s nákupom ďalších licenčných funkcií.

V diskretizačných funkciách je Ansys Fluent na najvyššej úrovni a umožňuje zobrazenie veľkosti jednotlivých buniek ešte predtým, než bude čokoľvek pokryté sieťou. Ansys Fluent využíva bunky v tvare mnohostenu napríklad štvorstenu alebo šesťstenu. Veľkým prínosom je prítomnosť novej technológie na vytváranie siete s názvom Mosaic, ktorá vytvára hybridnú sieť, vďaka ktorej dokážeme zvýšiť presnosť a znížiť potrebný čas na výpočet.

Licencia za tento softvér je však veľmi drahá a aktuálne je 30000 Eur. Ansys však ponúka aj študentské verzie, vďaka ktorým je tento program populárny aj na akademickej pôde [9].

7. Aerodynamické tunely

Aerodynamické tunely sú dôležitým pokračovaním pri tvorbe nových geometrií a ich overovaní. Informácie získané pomocou metódy CFD sa verifikujú v týchto tuneloch a následne je možné pokračovať v ich úprave pre dosiahnutie požadovaných vlastností. Vďaka kombinácii týchto dvoch metód skúšok môžeme veľmi detailne pochopiť správanie prúdenia a vyvodiť tak závery užitočné pre praktickú skúšku v reálnych podmienkach. Aj keď majú simulácie pomocou CFD technológií a aerodynamických tunelov zásadnú úlohu, je dôležité, aby sa získané informácie zhodovali aj s numerickými simuláciami.

Príkladmi využitia týchto tunelov môže byť testovanie krídel alebo leteckých spaľovacích motorov, ktoré vyžaduje finančne náročný filtračný systém vzduchu pre zachovanie kvality vzduchu vo vnútri tunela. V prípade automobilového priemyslu je dôležitou vlastnosťou automobilu jeho odpor a vytváraný

hluk, ktorý je možné merať práve v takomto tuneli. V architektúre sa využíva na skúmanie atmosférickej medznej vrstvy, rýchlostí prúdenia a turbulencií v blízkosti zeme a jeho vplyvu na budovy [10].

Aerodynamické tunely môžeme jednoducho opísať ako veľké rúry, v ktorých sa nepohybujú predmety voči vzduchu ale práve naopak, vzduch prúdi okolo skúmaných predmetov, ktoré sú ukotvené na danom mieste [11].

Všetky aerodynamické tunely sú zložené z komplexu častí a jednotlivých oddelení. Základom je vytvorenie pohybujúceho sa prúdu vzduchu, ktorý sa vo väčšine prípadov realizuje pomocou ventilátora. Vytvorené prúdenie prechádza cez zahnuté časti, ktoré sa nazývajú kolená, kde sa o jeho usmernenie starajú usmerňovacie lopatky. V ďalšej časti sa prúd narovnáva prechodom cez sieťku. Prúd vzduchu ďalej prechádza cez merací priestor v tvare dýzy, ktorý je v týchto miestach najužší a vzduch tu prúdi najvyššou rýchlosťou až do difúzora. V meracom priestore je vzduch homogénny a uskutočňujú sa tu merania. Za meracím úsekom prúd vstupuje do difúzora, kde sa rozmery tunela zväčšujú a dochádza tu k spomaleniu vzduchu. Nasleduje opäť vstup do ventilátora, čím sa okruh uzatvára. Tento stručný opis je opisom uzavretého typu aerodynamického tunela. Hlavným rozdielom medzi otvoreným a zatvoreným typom je, že pri otvorenom type aerodynamického tunela vstupuje vzduch z atmosféry a rovnako do nej ústí aj výstup [12].

Aerodynamické tunely sú navrhnuté pre konkrétny účel a rozsah rýchlostí. Existuje veľa typov aerodynamických tunelov a niekoľko rôznych spôsobov ich klasifikácie.

- Aerodynamické tunely môžeme všeobecne klasifikovať podľa:
- dosiahnuteľnej rýchlosti prúdenia (podzvukové, transonické, nadzvukové a hypersonické),
- geometrie tunela (otvorený a uzavretý)
- pracovnej látky (vzduch, dusík, hélium)

7.1. Časti aerodynamických tunelov

7.1.1. Testovacia komora

Komora alebo testovacia časť je navrhovaná vzhľadom na celkové špecifikácie tunela ako rýchlosť prúdenia a želaná kvalita prúdenia. Veľkosť testovacej komory a rýchlosť prúdenia ďalej stanovujú maximálnu veľkosť testovaných modelov a maximálne dosiahnuteľné Re . Tvar prierezu testovacej komory závisí od využitia. V niektorých prípadoch je potrebné umiestnenie testovacieho príslušenstva v priestoroch testovacej komory. V takýchto prípadoch je odporúčané udržiavať v komore tlak rovnaký ako je v okolitom prostredí, ktorý sa docielí otvorom vo veľkosti 1 % celkovej dĺžky testovacej komory. Existujú aj testovacie komory s mierne odlišnými stenami, a to za účelom správneho simulovania medznej vrstvy a jej rastu [13].

7.1.2. Dýza

Zúžená časť alebo dýza je časť nachádzajúca sa pred testovacou časťou a je najdôležitejšou časťou aerodynamického tunela. Má najväčší vplyv na kvalitu prúdenia v testovacej časti tunela. Jej účelom je urýchliť prúd vzduchu, znížiť turbulencie a zabezpečiť homogénne prúdenie. Zrýchlenie a kvalita prúdenia závisí od pomeru N , ktorý je daný pomerom plochy vstupu a plochy výstupu. Veľkosť tohto pomeru by mala byť čo najväčšia a pre civilné využitie by malo mať hodnotu 4 – 6. Pri takomto pomere sa zaistí kvalitatívne vhodné prúdenie s mierou turbulencie približne 2 % [13].

7.1.3. Usmerňovacia komora

V prípade potreby vysoko kvalitného prúdenia je potrebná inštalácia dodatočných prvkov na zabezpečenie vyššej homogénnosti prúdenia a zníženia úrovne turbulencií pred vstupom do dýzy. Na tieto účely slúžia sieťky a usmerňovacia hexagonálna mriežka. Obe zariadenia docielia zvýšenie kvality prúdenia pomocou tlakovej straty. Hexagonálna mriežka veľmi dobre eliminuje laterálne turbulencie. Sieťky sú zase vhodné na elimináciu pozdĺžnych turbulencií. Využitím série dvoch alebo troch sieťok dokážeme znížiť úroveň turbulencie až na hodnotu 0,15 % v dvoch smeroch [13].

7.1.4. Difúzor

Difúzor vedie prúdenie späť k ventilátoru. V tejto časti dochádza často k separácii prúdu. Tvar prierezu sa môže pozdĺž difúzora meniť, pretože spája koleno, ktorého tvar sa zvyčajne podobá tvaru testovacej komory so vstupom do ventilátora. Analogicky k predchádzajúcemu prípadu poskytuje spojenie medzi východom z ventilátora a kolonom, ktorý má prierezový tvar podobný tvaru skúšobnej komory [13].

7.1.5. Kolená

Aerodynamické tunely s uzavretým okruhom si vyžadujú inštaláciu štyroch rohov respektíve kolien, ktoré zodpovedajú za viac ako 50 % z celkovej tlakovej straty. Najväčší vplyv má prvé koleno, pretože predstavuje asi 34 % z celkovej tlakovej straty. Na zníženie tlakovej straty a na zlepšenie kvality prúdenia na výstupe z kolena musia byť inštalované lopatky. Lopatky možno definovať ako jednoduché zakrivené profily. Rozmery kolena sú závislé od rozmerov difúzora, ktorý sa naň pripája. Šírka kolena na jeho výstupe by mala byť väčšia z dôvodu, že pozitívne ovplyvňuje celkové straty tlaku. Rádus kolena je väčšinou úmerný rozmerom napájajúcej sa časti. Rádus kolena je rovnaký ako rádus lopatiek respektíve ich natočenia [13].

7.1.6. Zdroj energie

V aerodynamických tuneloch môžeme ako zdroje energie použiť ventilátory alebo kompresory. Ich úlohou je vytvorenie želaného prúdu vzduchu požadovanej veľkosti a jeho udržanie počas doby testovania aj napriek stratám. Bližšie ho špecifikuje tlakový prírastok, objemový prietok a výkon.

Je potrebné, aby takýto zdroj dokázal kompenzovať straty v aerodynamickom tuneli. Existuje viacero možností, či už využitie jedného veľkého ventilátora alebo viacerých menších uložených do kaskád [13].

7.2. Merania v aerodynamickom tuneli

Určenie veľkostí síl a momentov, analýza prúdového poľa okolo skúmaného predmetu v aerodynamickom tuneli je elementárnou záležitosťou pre získanie celkových aerodynamických vlastností. Na tento účel slúžia konkrétne zariadenia a postupy. Merania ustálených a meniacich sa síl pôsobiacich na obtekané telesá sú hlavnými úlohami v rámci testovania v aerodynamických tuneloch.

7.2.1. Meranie síl a momentov

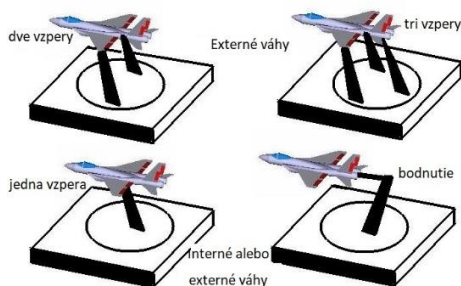
V aerodynamických tuneloch je meranie týchto veličín kľúčové a sú potrebné až v 70 % prípadoch. Merajú sa pomocou prístrojov na to určených – pomocou váh. Tieto váhy sú v dnešnej dobe založené na snímačoch, prípadne sú vyhotovené z jedného kusu kovu, na ktorý sú upevnené tenzometre. Väčšina váh používa prvky s tenzometrickým meraním, ktoré transformujú zaťaženie na elektrické napätie. V minulosti sa zaťaženie v aerodynamickom tuneli meralo pomocou váhových stupnic, podobne ako tie, ktoré existovali v lekárskejších ordináciách, a preto sa dnes nazývajú váhy [14].

Takisto môžeme váhy rozdeliť od umiestnenia. Pokiaľ je váha umiestnená vo vnútri skúmaného modelu, hovoríme o vnútornej váhe, ak je váha umiestnená mimo modelu prípadne mimo tunela, hovoríme o externej alebo vonkajšej váhe. Rozsah, presnosť a doba odozvy meraní sú hlavnými parametrami, ktoré definujú tieto systémy [14].

Ďalšou možnosťou merania aerodynamického zaťaženia je meranie tlaku v niekoľkých bodoch na modeli pomocou tlakového skenera alebo systému Scanivalve. Meracie body sú zabudované do povrchu modelu vytvorením otvorov a ich spojením so skenerom pomocou trubice prenášajúcej tlak. Táto metóda je však veľmi drahá [14][15].

7.2.2. Upevnenie modelu

Upevnenie modelu musí správne prenášať aerodynamické zaťaženie na vonkajšie váhy a zabezpečiť statickosť modelu v požadovanej polohe, napríklad v požadovanom uhle nábehu a uhle vybočenia. Upevnenie dokážeme zabezpečiť rôznymi spôsobmi, pri výbere musíme zohľadniť účel testovania a možnosti upevnenia v samotnom tuneli. Výber typu váh a typu uchytania môže tiež ovplyvniť možnosť snímaných veličín. Upevnenie musí byť pevné a tuhé a musí minimalizovať dynamické pohyby modelu počas testovania [14].



Obrázok 3: Typy upevnenia modelu lietadla. Zdroj: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunbalmnt.html>, upravené autorom].

7.2.3. Meranie tlaku

Zisťovanie hodnoty statického a dynamického tlaku v súvislosti s voľným prúdením okolo obtekaného telesa je elementárnou úlohou meraní v aerodynamických tuneloch. Meranie tlaku prúdiacej tekutiny môže byť potrebný pre stanovenie ďalších vlastností z hľadiska termodynamiky a najmä pre určenie síl pôsobiacich na obtekané teleso a rýchlosti prúdenia. V praxi je tlak meraný na povrchu obtekaného telesa alebo vo voľnom prúde vhodnými snímačmi, ktoré sú ďalej prepojené s prevodníkmi vhodnej citlivosti a rozsahu. Aktuálne sa rozširuje metóda merania tlaku založená na farbe citlivej na zmenu tlaku, ktorá poskytuje možnosť merania tlaku na povrchu modelu priamo, bez prevodníkov a ostatného príslušenstva [14].

Meranie pomocou Pitotovej trubice môžeme považovať za jeden z najjednoduchších a najpoužívanejších spôsobov, akým dokážeme merať statický, dynamický tlak a následne rýchlosť.

Merania konvenčnými spôsobmi, ako je použitie desiatok snímačov na povrchu modelu niekedy nie je vhodné a nemožno ich použiť na hranách alebo veľkých rádiuoch.

Metóda merania tlaku (PSP) pomocou náteru citlivého na tlak sa pracuje na báze náteru, ktorý sa nanesie na skúmaný model a pri vhodnom nasvietení dokážeme vidieť celkové rozloženie tlaku na modeli. Metóda je založená na deaktivácii fotoexcitovaných molekúl organických luminofórov molekulami kyslíka (quenching). Pri nasvietení svetlom vhodnej vlnovej dĺžky excitované molekuly emitujú svetlo rozdielnej vlnovej dĺžky, ktorého intenzita je nepriamo úmerná parciálnemu tlaku kyslíka blízko povrchu. Vďaka rôznej intenzite vyžarovaného svetla dokážeme identifikovať rozloženie tlaku na povrchu modelu [14].

7.2.4. Vizualizácia prúdenia

Vizualizácia prúdenia poskytuje metódy pre pochopenie správania sa prúdenia a metódu pre vizualizáciu prúdenia, ktoré sme schopní vyhodnotiť voľným okom alebo pomocou špeciálneho príslušenstva.

Vizualizácia prúdnic a prúdenia pomocou dymu je takmer zhodná s metódou využívajúcu farbivo. Je štandardným experimentálnym nástrojom pre aerodynamické tunely a jeho pokrok úzko súvisí s históriou samotných tunelov [14].

V praxi sa častokrát môžeme stretnúť s vizualizačnou metódou založenou na používaní vlákien, ktorá nájde svoje uplatnenie predovšetkým pri vizualizácii podzvukového prúdenia. Ide o krátke kusy vlákien, ktoré sú na konci rozstrapkané). Sú väčšinou vyrobené z nylonu, polyesteru alebo bavlny [20].

Technológia PIV (Particle Image Velocimetry) je založená na zavádzaní veľmi malých častíc do prúdenia, ktoré sa pohybujú spolu s prúdením a jeho aktuálnym smerom a rýchlosťou. Môžeme ju zaradiť do optických metód. Ide o nepriamu metódu vizualizácie toku, ktorá však poskytuje priame vektorové meranie rýchlosti v priereze prúdenia. Základný princíp zahŕňa fotografovanie pohybu mikroskopických častíc, ktoré sa pohybujú v smere prúdenia tekutiny [14].

Technológia LDA (Laser Doppler Anemometry) je technika, ktorá poskytuje informácie aj o rýchlosti prúdenia. V súvislosti s prúdením je neinvazívna a veľmi často sa používa pre aplikácie s reverzným tokom, chemicky reagujúcimi alebo

vysokoteplotnými médiami a rotujúcimi strojmi ako sú turbíny, kde je ťažké alebo nemožné použiť fyzikálne snímače. Technológia používa podobne ako PIV malé častice, ktoré sú sledované. Výhodou tejto technológie je že nenaruša prúdenie, dosahuje veľké priestorové rozlíšenie, nie je potrebná počiatočná kalibrácia a pomocou tejto technológie dokážeme merať aj reverzné prúdenie [14].

8. Porovnanie aerodynamických tunelov

Aerodynamické tunely môžu disponovať rôznou konštrukciou, rozmermi alebo meracími zariadeniami, prípadne maximálnou možnou dosiahnuteľnou hodnotou Machovho a Reynoldsovoho čísla. V tejto kapitole predstavím tri rôzne aerodynamické tunely a merania, ktoré je v nich možné uskutočniť. Tunely patria medzi strategicky dôležité a v súčasnosti sa vynakladá veľké úsilie na ich technologickú modernizáciu tak, aby ponúkali najnovšie metódy a technológie v tejto oblasti.

8.1. ONERA S1MA

ONERA S1MA je aerodynamický tunel uzavretým okruhom. Prúdenie vzduchu zabezpečujú dva protibežné ventilátory poháňané Peltonovými turbínami o celkovom výkone 88 MW. V aerodynamickom tuneli je možné zabezpečiť nepretržité prúdenie s rýchlosťou od $M = 0,5$ po $M = 1$.

Aerodynamický tunel je jeden z najväčších svojho druhu a priemer jeho testovacej časti môže byť až 8 m. Modely lietadiel, ktoré sa v tomto tuneli zvyčajne testujú, majú rozpätie krídel 3,5-4 m [21].

V aerodynamickom tuneli sa uplatňujú technológie ako je IR (vizualizácia prechodu medznej vrstvy na krídlach pomocou infračervených kamier), PSP (meranie tlakového poľa na krídlach a pohyblivých plochách, meranie zaťaženia ovládacích plôch), MDM (meranie deformácie v ohybe a krute na rôznych typoch krídla a ovládacích plôch), vizualizačné metódy využívajúce farebné oleje, Schlierenove techniky a systém PIV.

Medzi štandardné testy ktoré sa uskutočňujú v tomto tuneli je testovanie zmenšených úplných modelov (Large-scale full model), testovanie polovice modelu, testovanie vrtúl alebo rotorov (samostatne alebo nainštalovaných na motore), testovanie laminárneho prúdenia na veľkých modeloch alebo testovanie rakiet so zapnutým motorom, prípadne akustiku.

Aerodynamický tunel S1MA je nevyhnutný pre výrobcov lietadiel na celom svete a tiež pre rad výskumných pracovníkov, ktorí využívajú výhody jeho veľkých rozmerov [21].

8.2. Large Low-speed Facility

Pracovisko sa zameriava na štandardné aerodynamické testovanie, no špecializuje sa najmä na testovanie pri nízkych rýchlostiach prúdenia pre testovanie napríklad lietadiel v pristávacej alebo vzletovej konfigurácii s možnosťou. Takisto sa zameriava na meranie akustických veličín ako je vyprodukovaný hluk lietadla alebo motorov [22].

Zaujímavosťou je prítomnosť pohybujúceho sa pásu pod modelom, ktorým je možné napodobniť javy spojené s blízkosťou zeme. Pás je zhotovený z ocele a je schopný pohybovať sa rýchlosťou $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Systém sania a nafukovania

dokáže pás udržať vodorovný aj pri vysokom aerodynamickom zaťažení [22].

Ide o tunel s uzavretým okruhom s otvorenou a uzatvorenou testovacou časťou. Maximálna dosiahnuteľná rýchlosť je $M = 0,4$. Rozmery testovacej časti môžu byť rôzne, možnosť s najväčšími rozmermi má rozmery $9,5 \text{ m} \times 9,5 \text{ m}$, menšia má rozmery $8 \text{ m} \times 6 \text{ m}$. Druhá možnosť sa dá konfigurovať aj na rozmery $6 \text{ m} \times 6 \text{ m}$.

V LLF tuneli je takisto možné využiť technológie PIV, stereoskopické sledovanie bodov (meranie deformácií, ohybov), PSP, Laser Light Sheet (vizualizácia prúdového poľa), IR, TSP (náter citlivý na teplotu) [22].

8.3. European Transonic Wind tunnel

ETW je jedno z najpokročilejších aerodynamických testovacích zariadení na svete. ETW tunel má uzavretý okruh, ktorý je dodatočne tlakovo izolovaný pomocou škrupiny z nehrdzavejúcej ocele. Prúdenie zabezpečuje kompresor s výkonom 50MW. V ETW sa nepoužíva vzduch ale dusík s teplotou $-163,15 \text{ }^\circ\text{C}$ s tlakom 4,5 baru. Dusík je do okruhu privádzaný a rozprašovaný za prvým kolenom nachádzajúcim sa za testovacou časťou a prechádza ňou rýchlosťou $M=1,35$. Tým, že sa tekutý dusík rozpráši dôjde ihneď k vypareniu a vytvorí tak homogénnu chladnú zmes. Tunel vyniká schopnosťou dosiahnuť vysoké hodnoty Reynoldsovoho čísla, čo je jeho kľúčovou vlastnosťou oproti bežným aerodynamickým tunelom [16].

Pri skúmaní modelu lietadla polovičného rozpätia je možné dosiahnuť hodnotu 85.10^6 Reynoldsovoho čísla. ETW má kvalitu prúdenia porovnateľnú s najlepšimi konvenčnými transonickými aerodynamickými tunelmi. ETW je popredný svetový aerodynamický tunel zameraný predovšetkým na leteckú problematiku v ktorom sa dajú replikovať skutočné letové podmienky. Poskytuje Reynoldsove čísla relevantné pre let a umožňuje oddeľovať variácie Reynoldsovoho čísla a štruktúrneho zaťaženia pri vzletovej, pristávacej a cestovnej konfigurácii. V tuneli ETW sa uplatňujú štandardné techniky na meranie síl, tlakov a teplôt, deformácii modelu alebo získavanie údajov o tlakovom poli pomocou techník PIV alebo TSP. PSP a akustické techniky [16].

Na záver prikladám tabuľku so základnými technickými špecifikáciami týchto tunelov.

Tabuľka 1: Porovnanie technických parametrov aerodynamických tunelov. Zdroj: Autori.

	ONERA S1MA	ETW	DNW - LLF
Mesto	Modane, Francúzsko	Kolín nad Rýnom, Nemecko	Marknesse, Holandsko
Typ aerodynamického tunelu	Uzatvorený	Uzatvorený	Uzatvorený
Médium	Vzduch	Čistý dusík	Vzduch
Výkon	88 MW	50 MW	12,65 MW
Rozmery testovacej časti	Najväčšia s priemerom 8 m	Výška 2,0 m Šírka 2,4 m Dĺžka 9,0 m	Najväčšia s rozmermi 9,5 m x 9,5 m
Rozpätie Machovho čísla	0,5 – 1,00	0,15 – 1,35	Max. 0,4
Maximálne Reynoldsovo číslo	1.10^6	85.10^6	$3,9.10^6$

9. Záver

Autorovým hlavným cieľom bolo preskúmať problematiku simulácii v aerodynamike a s ňou súvisiacu technológiu CFD – výpočtovú dynamiku tekutín, ktorej využitie v posledných desaťročiach značne uľahčuje experimentálne merania v aerodynamike. Ďalším zámerom práce bolo preskúmať, popísať a poskytnúť stručný prehľad rôznych softvérových možností, ktoré sa na simulácie využívajú a priniesť tak teoretické poznatky. Cieľom práce bolo priblížiť problematiku týkajúcu sa aerodynamických tunelov a ich využitie vo výskumoch, či už ide o automobilový, letecký priemysel alebo stavebné inžinierstvo.

V rámci výskumnej časti bola aplikovaná syntéza, analýza a metóda porovnania jednotlivých odborných výskumných prác s dôrazom na využitý softvér. Neustále sa vyvíjajúce technológie ponúkajú nové možnosti skúmania. Ako autor zistil, existujú rôznorodé softvéry, avšak každý si vyžaduje určité znalosti a vedomosti súvisiace s jeho použitím alebo programovacím jazykom. Najčastejšie zastúpenie v rámci analyzovaných prác mal softvér ANSYS Fluent, ktorý ovplyvňuje viacerými výhodami v porovnaní s ostatnými. Je na užívateľovi, aký softvér na simuláciu zvolí, najmä vzhľadom na jeho využitie, samotné kompetencie užívateľa a experimentálny zámer.

V súčasnosti je nevyhnutná kombinácia technológie CFD a samotných aerodynamických tunelov, pričom autor poukázal na hlavné faktory ovplyvňujúce samotné experimentálne merania. Autor porovnával strategicky dôležité aerodynamické tunely v Európe a predstavoval ich možnosti využitia.

V rámci budúcich výskumov autor odporúča zamerať sa na praktickú simuláciu konkrétneho modelu pre lepšie porovnanie výsledkov medzi CFD softvériami a následné porovnanie v prostredí aerodynamického tunelu, ktoré nebolo možné z dôvodu pandemickej situácie. Autor predpokladá, že dôjde k zníženiu potreby využívania aerodynamických tunelov z dôvodu rýchleho vývoja počítačov a informačných technológií.

Zoznam použitej literatúry

- [1] SIMSCALE. 2021. What is CFD | Computational Fluid Dynamics? [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/cfd-computational-fluid-dynamics/what-is-cfd-computational-fluid-dynamics/>
- [2] NAKAYAMA, Y. 2018. Introduction To Fluid Mechanics. 2nd ed. Butterworth-Heinemann. 2018. 400 s. ISBN 978-0-08-102437-9.
- [3] MOLNÁR, V. 2011. Počítačová dynamika tekutín. Interdisciplinárny prístup s aplikáciami CFD. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2011. 464 s. ISBN 978-80-8106-048-9.
- [4] SADREHAGHIGHI, I. 2021. Essentials of CFD. CFD Open Series. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/publication/340038343_Essentials_of_CFD
- [5] KUDELAS, D. 2017. Základy počítačového modelovania prúdenia a vizualizácií [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://ooze.fberg.tuke.sk/wp-content/uploads/2017/12/Zaklady-numerickeho-modelovania-prudenia-1.pdf>
- [6] NILSSON, A. M. 2009. Exploring Fundamental Turbulent Physics Using Direct Numerical Simulation. Master Theses. University of Massachusetts Amherst. 91 s. Dostupné na internete: <https://core.ac.uk/download/pdf/13599077.pdf>
- [7] Cadence PCB Solutions. 2020. CFD Simulation Types: Discretization, Approximation, and Algorithms. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://resources.pcb.cadence.com/blog/2020-cfd-simulation-types-discretization-approximation-and-algorithms>
- [8] LI, N. 2015. Comparison between three different CFD software and numerical simulation of an ambulance hall. Master Theses. Stockholm: KTH School of Industrial Engineering and Management. 57 s. Dostupné na internete: https://www.diva-portel.org/smash/get/diva2:792705/FULLTEXT01.pdf?fbclid=IwAR2I8-7BnmSXq5rxA_QJsG4YB_z0e4qJqA2spbgQNa05duWSIZ8DKERjKUI
- [9] RESOLVED ANALYTICS. 2020. Comparing CFD Software. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: https://www.resolvedanalytics.com/theflux/comparing-cfd-software?fbclid=IwAR0na4I5pCY-DczPCJfx-6P9_eKZn8WBheAn2dlzmfYv4IUGSYa04ULMMMc
- [10] PEREIRA, D. J. 2011. Wind tunnels: Aerodynamics, Models and Experiments. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2011. 227 s. ISBN 978-1-61942-329-9.
- [11] NASA. 2017. What Are Wind Tunnels? [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/k-4/stories/nasa-knows/what-are-wind-tunnels-k4.html>
- [12] QUARK. 2020. Tunel plný vetra. In Quark: magazín o vede a technike. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.quark.sk/tunel-plny-vetra/>
- [13] AHMED, A. N. 2013. Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications. Rijeka: InTech, 2013. 218 s. ISBN 978-953-51-1047-7.
- [14] TROPEA, C. - YARIN, L. A. - FOSS, F. J. 2007. Springer Handbook of Experimental Fluid Mechanics. 2nd ed. Springer. 2007. 1585 s. ISBN 978-3662491621.
- [15] NASA. Ames Balance Calibration Laboratory. Balance Basics. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.nasa.gov/centers/ames/orgs/aeronautics/windtunnels/balance-basics.html>
- [16] European Transonic Windtunnel. [online]. [2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.etw.de/wind-tunnel/overview>
- [17] CFD Online. Large eddy simulation (LES). [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete:

[https://www.cfd-online.com/Wiki/Large_eddy_simulation_\(LES\)](https://www.cfd-online.com/Wiki/Large_eddy_simulation_(LES))

- [18] ANSYS. 2009. Reynolds-Averaged Approach vs. LES. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node45.htm>
- [19] ANSYS. 2009. Detached Eddy Simulation (DES). [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/th/node88.htm>
- [20] NASA. Smoke and Tufts. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunvsmoke.html>
- [21] ONERA. 2017. S1MA Large Transonic Atmospheric Wind Tunnel. [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.onera.fr/sites/default/files/windtunnel/pdf/S1MA-2018.pdf>
- [22] German-Dutch Wind Tunnels. Large Low-speed Facility (LLF). [online]. [citované 2021-05-20]. Dostupné na internete: <https://www.dnw.aero/media-center/downloads/brochures/download/5>
- [23] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

UPGRADE OF THE BITD TO AN ONLINE MULTIROLE SIMULATOR

AKTUALIZÁCIA BITD NA ONLINE VIACÚČELOVÝ SIMULÁTOR

Sahir Deniz Özdemirci

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
sdenizozdemirci@outlook.com

Filip Škultéty

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

Abstract

Thanks to the possibility of new technologies, there are several alternatives to upgrade the current hardware and software of flight simulators, such as the implementation of photorealistic scenarios, a better field of view or a realistic flight model of a selected aircraft. A part is devoted to the current technical parameters of the ELITE S612 BITD simulator. The practical part describes three options for computer software, followed by three options for replacing hardware and three options for updating the visual system.

Keywords

BITD, Flight simulator, upgrade, hardware, software

1. Introduction

Synthetic flight training devices were a necessity for pilot training due to their low operational costs and as they are safer a solution rather than training some manoeuvres and procedures on a real aircraft. With this need the use of synthetic flight training devices dates back to 1905. Since then gradual technological developments which reflected flight simulation training devices in a manner that use of these devices became more frequent and effective allowed regulatory bodies to implement flight training devices to be used as a part of pilot training. With this implementation, approved training organisations can lower their training costs and produce a safer solution.

The Sanders Teacher counts as the beginning of the flight simulation training devices but was not the most convenient way to train pilots since it was like a windsock pointing towards the direction of the wind and a steady wind was needed to achieve control surfaces to roll, yaw and pitch the simulator. In the 1920s The Link trainer also known as "the blue box" which was a seat on top of vacuum-operated bellows, was introduced by Edward Albert Link. The Link trainer was widely used due to its magnificent impact on pilot training for IMC. [1]

After World War II with the start of usage thermionic valves for solving complex sets, flight simulator training devices started to generate images. The image which was being generated for pilots was collected via a camera mounted on a gimbal mechanism. This camera and gimbal mechanism were placed on a board that contained the simulated environment of the airport and surroundings and by following the aircraft's simulated position the camera displayed the resulting image via a CRT screen to pilots so that pilots would have a visual sense of flying.[1]

In today's era, we can find collimated displayed flight training devices that allow pilots to focus to infinity instead of focusing on closely positioned displays, motion systems that tricks the human balance in order to increase the realism of the flight simulation.

2. Theoretical framework and current state of the BITD

As flight simulators training devices gradually upgraded technically a need for standardisation was mandatory to keep standards high that's why in the early 1970s several meetings were held by IAFSTA. Afterwards IAFSTA disbanded in 1973 due to unkind reaction to open forum. In the same year, Airlines re-grouped with the same need and with an invitation from IATA, the first meeting of the Flight Simulator Technical Sub-Committee was held in Denver, USA.[2]

2.1. Regulations

Nowadays, flight simulator training device manufacturers have to build and fulfil the requirements which are set in order to certify the simulator by the regulatory body which ICAO undertakes those qualifications and requirements in ICAO Doc 9625 Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulators. This document was published in 1995 and contained installation and recurrent checking of flight simulators for countries that were represented in ICAO. [4] [5]

2.2. Flight simulator categorisation

As not every simulator is suitable for every training therefore there is a minimum requirement for a specific training application. EASA divides flight simulation training devices under eleven levels which are BITD, FNPT Level 1, FNPT Level 2, FNPT MCC, FTD Level 1, FTD Level 2, FTD Level 3, FTD Level 4,

FFS Level A, FFS Level B, FFS Level C and FFS Level D. BITD which stands for basic aviation training device is a synthetic flight training device where student pilots can get to know with instruments on a basic level.

2.3. Logging of Flight Simulator Time

As flight simulators are more enhanced pilots are able to log simulator experience as simulator flight time. However, the amount of allowed simulator flight time logging towards integrated and modular training programs differ for all types of pilot licenses.

2.4. The current state of the BITD

The S612's setup is 390cm wide, 430cm long and 240cm high with a weight of around 400kg's and a maximum power consumption of 9000W. The whole system is powered by 230V AC. The components and specifications which this S612 consists of are divided into four sub-headings in order to make a more detailed analysis.



Figure 1: ELITE S612 BITD located in Zilina Airport. Source: Authors.

2.4.1. Cockpit

The cockpit of S612 stands on a wooden base, and the hull is made out of fibreglass with a plexiglass windshield. Inside the cockpit, an adjustable pilot seat with a spring-loaded yoke mechanism, a single-engine power quadrant, and self-centring pedals are placed ergonomically. The instrument panel consists of 4 plates that have switches and buttons. There is a 17inch TFT monitor located under a plastic sheet with aligned cuts so that it reproduces the flight instruments which are being displayed on the monitor. With the same technique a 15inch TFT monitor tilted 90° is placed on the right side of the flight instruments monitor to Bachelor thesis 25 display navigational and engine instruments. In addition, an AP3000 avionic stack is mounted on the instrument's panel. This setup is also referred to by ELITE as iGate core. Adjustable white light for reading charts, checklists, etc. is mounted to the overhead panel as well as an adjustable red light for main panel illumination is provided.



Figure2: ELITE S612 BITD's hull. Source: Authors.

2.4.2. Instructors station

The Instructors station is equipped with two 17inch monitors, a mouse, a keyboard, a printer to and master witches for starting up and shutting down the system.

2.4.3. Computers

ELITE S612 has two computers which are the HostPC and the Image generator. They are connected via an ethernet switch. The HostPC is the main computer on which the core simulation software is running. HostPC is connected directly to iGate core via a USB cable. The specification of the computer:

- Operating system – Windows XP,
- CPU – Intel Core 2 Duo E8400,
- GPU – Nvidia Quadro NVS 290,
- RAM – 2 GB,
- Motherboard - SUPERMICRO C2SBX.

The Image generator is used for providing visual display output for the given viewpoint position by the HostPC. The output is sent to the projector, where later the image would be displayed to the projection wall. The specification of the computer:

- Operating system – Windows XP,
- CPU – Intel Core 2 Duo E8400,
- GPU – Nvidia GeForce 9800 GT,
- RAM – 2 GB,
- Motherboard - SUPERMICRO C2SBX.

2.4.4. Other

In order to display the images which are being generated by the Image generator, an NEC NP310 projector is connected to the Image generator via a video graphics array cable and displays the image to a projection wall which is a white synthetic material with an aluminium frame. A KVM switch is used to use a keyboard and mouse between two computers and to provide the instructor with the visual image as well as a NetGear ethernet switch to allow two computers to communicate each order.

3. Objective and methodology

3.1. Objective

Main Objective

Listing upgrade options for ELITE S612 BITD in order to improve software and hardware wisely so that it can connect to an online platform with today's technological availabilities.

Partial Objectives

- Gathering information about divisions of FSTD's and regulations from EASA and FAA

- Analysing the current ELITE S612 BITD's specifications.
- Considering opportunities to use for ELITE S612 BITD computer hardware wise.
- Considering opportunities to use for flight simulation software
- Considering opportunities to use for improvements on flight simulation software.

3.2. Methodology

The main source of information during the preparation was domestic and foreign literature in the form of:

- Book sources,
- Studies on flight simulation devices issues,
- Internet resources,
- Publications from professional journals.

The methods characterize the subject, objective and type of study. The following logical methods were used to work with these materials:

- Method of collecting and processing information was employed in storing sources and sorting information in the scientific area of the problem,
- Method of analysis was applied in the part devoted to the current state of the solved issue in the evaluation of the current procedures,
- The synthesis method was applied in a deep analysis of information sources,
- The comparative method used when assessing regulations in individual states.

The method of collecting and processing information is applied mainly in the initial phase. In the next phase, the methods of processing the information obtained were modified. Methods of analysis and synthesis are used for the conclusive assessment of analysed information. The method of analysis can be imagined as the division of an object, phenomenon or thought object into its elements or parts, dividing its particular elements and their subsequent independent exploration. Performing the analysis performed through the following steps:

- Dividing the analysed issue into several parts according to different factors of action,
- Identifying the subjects most affected by the subject matter,
- Identification of conditions that are most identifiable by factors affecting the issue,
- Quantitative and qualitative determination of the predominant factors affecting the phenomenon under consideration.

During the elaboration of the work, the above-mentioned points were followed which provided a sufficiently good analysis of the

phenomena in question, reflecting their continuity and internal events.

4. Upgrade of the BITD

The options for upgrade possibilities for ELITE S612 BITD considering price, fidelity, redundancy, performance benefits, and lifespan.

4.1. Ideal computer options for ELITE S612

In comparison to current HostPC and ImageGenerator computers, which were assembled back in 2008 the amount of processing power needed to be achieved for a sustainable flight experience for current and upcoming flight simulator software computers on these would not be possible to run on current computer hardware without an upgrade. That's why I have chosen the optimal computer components in order to fulfil and exceed the requirements which today's flight simulation software requires.

Considering the amount of processing power needed to achieve high-fidelity, decisions for the best brand and model of the component are made by using <https://www.passmark.com/> website. The computer options with components and prices are shown on following tables.

Table1: High-end computer configuration. Source: Authors.

Components	Manufacturer	Model	Price
CPU	Intel	Core i9-11900KF	550€
Video card	Nvidia/EVGA	EVGA GeForce RTX 3090 FTW3 ULTRA HYDRO COPPER GAMING	2X 2097€
RAM	Kingston	HyperX FURY 128GB DDR4 3600MHz	868€
Storage	WD	Black SN850 M.2 NVMe SSD	208€
Motherboard	MSI	MEG Z590 GODLIKE	889€
Cooling	Corsair	Hydro X Series iCUE XH305i RGB Custom Cooling Kit	577€
Power supply	Corsair	AX1600i Digital ATX	473€
Case	Cooler Master	MasterCase H500P	183€
Operating system	Microsoft	Windows 10 Pro 64bit	167€
Total			8109€

Table 2: High to mid range computer configuration. Source: Authors.

Components	Manufacturer	Model	Price
CPU	AMD	Ryzen 7 5800X	474€
Video card	Nvidia/Gigabyte	GIGABYTE RTX 3080 EAGLE 10G GV-N3080EAGLE-10GD	2X 1141€
RAM	Corsair	Dominator Platinum 16GB RGB DDR4 3600MHz	474€
Storage	WD	Black SN850 M.2 NVMe SSD 1TB	208€
Motherboard	MSI	Prestige X570 CREATION	502€
Cooling	Corsair	H150i Elite Capellix	176€
Power supply	SilverStone	Strider Platinum ST1200-PTS 1200 W	293€
Case	Corsair	Corsair Crystal 570X RGB	196€
Operating system	Windows	Windows 10 Pro 64bit	167€
Total			4772€

Table 3: Mid range computer configuration. Source: Authors.

Components	Manufacturer	Model	Price
CPU	AMD	Ryzen 5 5600X	336€
Video card	Nvidia/Gigabyte	GeForce RTX 3070 GAMING OC 8G	2X 840€
RAM	Kingston	HyperX 16GB KIT DDR4 2666 MHz CL16 FURY series	2X 89€
Storage	Samsung	970 EVO 1TB	139€
Motherboard	ASUS	ProArt B550-CREATOR	253€
Cooling	NOCTUA	NH-U12S SE-AM4	79€
Power supply	SilverStone	SFX-L Titanium SX800-LTI 800W	210€
Case	FSP	Fortron CMT211A	48€
Operating system	Microsoft	Windows 10 Home 64bit	128€
Total			2962€

4.2. Visual system upgrade options for ELITE S612

Visual system upgrade options are divided into two subheadings which are hardware upgrade options and software upgrade options in order to explain more deeply since the visual systems of flight simulation training devices has a very important role.

4.2.1. Hardware upgrade options

The current single-channel visual system is running on a projector which has 1024x768 resolution with an aspect ratio of 4:3. Which as a result we end up with narrow horizontal field of view. I have given three options to solve this issue

- The first option is to use three monitors on a monitor stand placed in front of the simulator cockpit so that we could achieve an increase in the field of view. Thanks to the use of monitors instead of projectors, the ambient light would not affect the image contrast.
- The second option is to use the current visual system setup and add the same components in order to increase the field of view which is an inexpensive option considering that one projector and projector wall is already installed.
- The third option is to place a circular white projection wall with a radius of 189cm and a circumference of 802cm to achieve a 270° horizontal field of view. The projectors have to be short-throw since otherwise, the image displayed would overlap with the S612 BITD's hull.

4.2.2. Software upgrade options

In this subheading, three options for flight simulator software that could be used as an upgrade over the current XTS flight simulator software which is running on ELITE S612 BITD were given. Which are:

- X-plane 11 by Laminar Research. 65€.
- Prepar3D by Lockheed Martin costs. 163€
- Microsoft Flight Simulator by Asobo Studio. 70€

Since X-plane11 and Prepar3D do not include an orthophoto scenery, unlike Microsoft Flight Simulator to take a step further, an implementation of satellite imagery could be possible with a software called Ortho4XP. This program enables satellite imagery also vector data such as building positions, roads, parks, etc. to be injected to the scenery of the chosen flight simulator software.

4.3. Flight model/Aircraft upgrade options for ELITE S612

The flight model is highly dependent on the aircraft used in flight simulator software. The flight simulator software options which have been chosen on the table 4 in compliance with ELITE S612 BITD's instrument placement.

Table 4: Flight simulation software aircraft options. Source: Authors.

Flight Simulator Software	Third-Party Developer	Aircraft	Price
X-Plane	Alabeo	C172RG CUTLASS II	25€
Prepar3D	Alabeo	C172RG CUTLASS II	25€
X-Plane	Just Flight	PA-28R Arrow III	38€
Prepar3D	Just Flight	PA-28R Arrow III	38€
Microsoft Flight Simulator	Just Flight	PA-28R Arrow III	38€

4.4. Connecting ELITE S612 to an online platform

The connection of flight simulator software is possible with online platforms which are IVAO and VATSIM. Both of IVAO and VATSIM are created to provide an environment for flight simulator software users which is realistic and educational. The pilot student can easily practice ATC communications by implementing one of these platforms on ELITE S612 BITD.

5. Conclusion

ELITE S612 BITD owned by University of Žilina has a grate upgrade opportunity hardware and software wisely which could be used to help pilot students for training instruments, ATC communications and giving a sense of flight for those who haven't started on their flight training while having a photo realistic scenery experience. In order to achieve this level of experience a upgrade is mandatory since the current running flight simulation software in ELITE S612 BITD does not support further upgradeability. Opportunities of an upgrade could be taken even further by implementing orthophoto scenery of multiple countries.

References

- [1] [1] ALLERTON, D. 2009, Principles of Flight Simulation, John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom
- [2] [2] Richard H. Riley, 2016, Manual of Simulation in Healthcare, 2nd edn, Oxford University Press, New York
- [3] [3] ICAO Doc 9625
- [4] 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
- [5] Novák, A., Novák Sedlačková, A. 2010. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilina EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2010. 125 s. ISBN 978-80-87284-05-6

CPDLC, EFFECTS ON INCREASING EFFICIENCY AND SAFETY IN AIR TRAFFIC (SYSTEM SUBSTITUTE FOR GA)

CPDCL, VPLYV NA ZVÝŠENIE BEZPEČNOSTI A EFEKTIVITY V LETOVEJ PREVÁDZKE (OBDOBA SYSTÉMU PRE GA)

Matúš Pätoprstý
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
patoprsty1@stud.uniza.sk

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

Abstract

The paper focuses on the CPDLC. We aim to examine its effects on air traffic efficiency and safety, we also look through options of creating a substitute of the system for general aviation. CPDLC is datalink communication between controller and pilot, via text messages. Introduction is dedicated to principles of operating CPDLC system. In the next chapter we talk about the effects of the system on efficiency and safety of air traffic. We describe systems responsible for increasing efficiency and decreasing density of radio frequencies. We also examine effects on safety of air traffic and security of the system itself. Fifth chapter is an analysis of communication networks, suitable for creating a CPDLC substitute for general aviation. It encompasses dissection of different networks, which are essential when creating a new communication system. In the last chapter, we compare proposed options and evaluate their suitability for creation of a new communication system.

Keywords

CPDLC. SATCOM. GA. Security. DCL. Datalink.

1. Úvod

CPDLC je nový spôsob komunikácie v leteckej doprave, ktorého implementácia stále prebieha. Jedná sa o datalink systém a teda digitálnu komunikáciu, medzi pilotmi a riadiacim letovej prevádzky, formou textových správ. Slúži ako sekundárny systém hlasovej rádio komunikácie a ako náhrada HF rádiovkej komunikácie mimo dosahu VHF rádiostanic. CPDLC má v leteckej doprave vplyv na zvýšenie efektivity a bezpečnosti letovej prevádzky. S novým systémom sú však spojené riziká, či už v oblasti jeho zabezpečenia, alebo nových prevádzkových postupov. Napriek veľkému potenciálu na zvýšenie efektivity letovej prevádzky a zníženie zaťaženia rádiových frekvencií, nemá tento systém finančne dostupnú alternatívu pre pilotov v kategórii všeobecného letectva.

Naším cieľom je preskúmať, akým spôsobom vplýva CPDLC na efektivitu a bezpečnosť letovej prevádzky a zhodnotiť zabezpečenie systému a jeho ochranu voči protiprávnemu zasahovaniu. Cieľom práce je aj analyzovať dostupné alternatívy komunikačných sietí, ktoré sú finančne dostupné pre implementáciu vo všeobecnom letectve a následným porovnaním vyhodnotiť vhodné riešenie pre vytvorenie obdobného systému.

Letecká doprava sa neustále rozrastá a dochádza aj k zhusťovaniu letovej prevádzky. Preto si myslíme, že je nevyhnutné skúmať a vyvíjať nové systémy, ktoré zabezpečia jej udržateľnosť a bezpečnosť. Všeobecné letectvo predstavuje významnú, stále sa zväčšujúcu, časť leteckej dopravy a preto

zavedenie obdobného systému, môže mať významný vplyv na udržateľnosť letovej prevádzky.

2. Systém CPDLC

Datalink je všeobecný názov, ktorý zahŕňa rôzne typy datalink systémov a podsietí [1]. Slúži ako sekundárny spôsob komunikácie a nahrádza hlasovú rádiovú komunikáciu, v rôznych etapách letu. V súčasnosti sa využívajú dve rôzne obdoby tohto systému. Európsky systém ATNB1 a FANS 1/A využívaný v USA. Ten je výsledkom programu FANS.

CPDLC využíva na prenos dát VDL siete. Pozemné stanice sú vybavené VHF rádioprijímačmi a zariadeniami schopnými spracovávať VDL protokol. Pracuje na frekvenciách VHF 118,00 až 136,975 MHz a dosahuje rýchlosť prenosu dát 32 kb/s [6]. Na prenos VHF signálu je potrebná priama viditeľnosť medzi vysielateľom a prijímačom, z toho dôvodu je dosah obmedzený [24].

Mimo dosahu VDL, sa využíva satelitná sieť spoločností Inmarsat a Iridium.. Inmarsat je britská telekomunikačná spoločnosť založená v roku 1979. Disponuje 14. satelitmi na geostacionárnej orbite vo výške 35 786 km. Iridium je americká telekomunikačná spoločnosť ktorá využíva 66 satelitov umiestnených na nízkej obežnej dráhe Zeme.

Palubné vybavenie lietadla muselo byť prispôbené pre datalink systémy [25]. Niektoré existujúce zariadenia umožňovali update pre datalink služby, iné museli byť nahradené. Prvou súčasťou palubného vybavenia je WAAS/LPV

FMS, je viacúčelový počítač na palube lietadla, ktorý slúži na navigačné a výkonnostné účely. Pomocou neho posádka prostredníctvom CDU (Control Display Unit) prijíma a posiela textové správy. CMU (Control Management Unit) zabezpečuje dátový prenos medzi lietadlom a zemou. FMS zabezpečuje prepojenie medzi posádkou lietadla a CMU. To následne využíva VHF vysielateľ-prijímač alebo SDCS na odosielanie alebo prijímanie dát. Taktiež ako hlasová aj datalink komunikácia musí byť zaznamenávaná.

3. Súčasný stav riešenej problematiky

3.1. Vplyv CPDLC na bezpečnosť a efektivitu letovej prevádzky

CPDLC ma veľký vplyv a potenciál na zvýšenie bezpečnosti v leteckej doprave. Pri prenose pomocou textových správ eliminujeme množstvo rizík, ktoré vznikajú pri hlasovej komunikácii. Jedným z hlavných faktorov, je zníženie pracovnej záťaže riadiacich letovej prevádzky, ako aj pilotov a teda zároveň aj zníženie pracovného stresu. To je dosiahnuté hlavne vďaka možnosti komunikovať s viacerými lietadlami súčasne. Pri hlasovom prenose je na danej frekvencii umožnené v danom čase vysielateľ len jednému subjektu. To vyvoláva množstvo stresových situácií, obzvlášť v oblastiach s hustou letovou prevádzkou.

Vysielané správy musia byť často opakované z dôvodu prerušenia vysielania treťou stranou, slabej kvality prenosu, či problémov spôsobených jazykovou bariérou. Pri CPDLC je umožnená riadiacemu letovej prevádzky komunikácia s viacerými subjektami súčasne a zároveň posielať správy ktoré obsahujú až 7 prvkov. Výrazne teda znižuje čas potrebný na odovzdanie väčšieho množstva informácií a zjednodušuje ich príjem. Forma textových správ ponúka ľahšie spracovanie väčšieho množstva údajov a odstraňuje potrebu postupu read back, ktorý pri nesprávnom prevedení spôsobuje predĺžovanie komunikácie a zvýšenie pracovnej záťaže. Taktiež eliminuje problém rušenia a nízkej kvality hlasového prenosu. Jedným z hlavných prínosov pre zvýšenie bezpečnosti je však odstránenie problému jazykovej bariéry.

3.2. Obdoba systému pre všeobecné letectvo

V súčasnosti sa systém CPDLC využíva vo všeobecnom letectve prevažne u lietadiel typu Business Jet. Hlavným dôvodom je práve cena palubného vybavenia, potrebného na využívanie datalink služieb. Napriek tomu, že sa jedná o relatívne jednoduchý systém, ktorý nedisponuje žiadnym špeciálnym zabezpečením, jeho cena a cena palubného vybavenia, neumožňuje implementáciu pre menšie lietadlá.

Datalink systém pre menšie jednomotorové, dvojmotorové vrtuľové lietadlá neexistuje. V [2] je vyjadrená potreba zavedenia datalink systémov pre všeobecné letectvo z dôvodu zvýšenia bezpečnosti letovej prevádzky. Experiment je vykonaný vo Švédsku kde podľa štatistiky vzniklo za tri a pol ročné obdobie 720 incidentom v riadenom letovom priestore a 133 incidentom na dráhe. Väčšina z nich spôsobená účastníkmi letovej prevádzky v kategórii všeobecné letectvo.

Vytvorenie obdoby systému pre všeobecné letectvo, môže mať veľký vplyv na zvýšenie bezpečnosti letovej prevádzky. Taktiež

zabezpečí ďalšie uvoľňovanie rádiových frekvencií a udržateľnosť letovej prevádzky.

4. Metodika a metodológia.

4.1. Vplyv CPDLC na zvýšenie efektivity letovej prevádzky

Implementácia systému CPDLC ma za úlohu zvýšiť bezpečnosť letovej prevádzky. Jeho úlohou je však aj zvýšiť efektivitu a udržateľnosť letovej prevádzky. Podľa štatistík, má počet prepravených osôb predpoklad stúpať ročne o 4% [3]. To znamená väčší nárast letov a zhusťovanie letovej prevádzky. Neberieme do úvahy momentálnu pandemickú situáciu, hoci jej vplyv vývoj leteckej dopravy značne spomalí, poskytuje však možnosť vývoju nových systémov.

Postupnou implementáciou sa neustále zvyšuje využiteľnosť datalink služieb nad európskym vzdušným priestorom. Podľa uznesenia 29/2009 bude nad európskym priestorom, od 5 februára 2022, vybavenie lietadla možnosťou komunikácie prostredníctvom CPDLC, podmienkou pre let nad letovú hladinu 285. Od roku 2018 sa zvýšil počet lietadiel vybavených možnosťou CPDLC z 27 na 70 % [4].

Eurocontrol DPFM zabezpečuje monitoring výkonnosti datalink systémov v Európe. DPFM publikuje pravidelné mesačné správy od roku 2018. Správy obsahujú komplexné informácie, ktoré zahŕňajú stav implementácie systémov v daných letových priestoroch, počtu lietadiel využívajúcich CPDLC. Taktiež sa zaoberá výkonnosťou systému, percentu úspešne odoslaných správ a počtu vyskytnutých chýb počas prevádzky systému.

Podľa štatistík americkej spoločnosti L3Harris technologies, je v Spojených Štátoch Amerických viac ako 5900 lietadiel vybavených možnosťou datalink komunikácie. Bolo vykonaných viac ako 9,9 milióna letov za použitia systému CPDLC vďaka čomu bolo ušetrených viac ako 1,75 milióna minút letového času [5].

Jedným z hlavných vplyvov na zvýšenie efektivity letovej prevádzky má systém CPDLC-DCL. Lietadlá používajúce CMU vybavené FANS 1/A môžu využívať CPDLC-DCL (Controller-Pilot Data Link Communications Departure Clearances). Tento systém umožňuje pilotom žiadať, a zároveň prijímať počiatočné a revidované povolenia, prostredníctvom VHF Data link módu 0/A alebo módu 2. Tieto služby sú momentálne poskytované v Spojených Štátoch Amerických na viac ako 60 medzinárodných letiskách [6].

Počiatočný logon posádka uskutočňuje 30 minút pred ETD. Po nadviazaní spojenia piloti obdržia CPDLC-DCL správu obsahujúcu potrebné informácie. Po kontrole oboma pilotmi potvrdia prijatie správou *ROGER*. Následne je komunikácia automaticky ukončená približne 5 minút po odlete [7].

4.2. Bezpečnostné riziká pri postupoch

1. Rozdelenie úloh medzi plánovacím riadiacim letovej prevádzky a výkonným riadiacim letovej prevádzky. CPDLC umožňuje plánovaciemu ATC vykonávať niektoré úlohy. Môže nastať bezpečnostný problém keď dôjde k miskomunikácii medzi dvoma riadiacimi, z dôvodu vysokej pracovnej záťaže. Plánovač vykoná úkony o ktorých nie je hlavný riadiaci

oboznámený a následne vykonáva rozhodnutia na základe nepravdivých uvážení.

Príklad: Plánovač odošle CPDLC správu s povolením lietadlu aby pomohol hlavnému k vyriešeniu konfliktu v rušnej letovej prevádzke. Hlavný riadiaci si však daného konfliktu všimol a rozhodol sa ho riešiť. Medzi oboma riešeniami nastane nehoda a musia byť vykonané nápravné opatrenia. Obdoba tohto prípadu môže nastať keď plánovač priskoro nariadi zmenu frekvencie pri prelietavaní do nového riadeného priestoru. Hlavný riadiaci nemá možnosť vydať povolenie a môže dôjsť k porušeniu minimálnych rozstupov medzi lietadlami na hranici riadených priestorov.

Riešenie: Presné rozdelenie úloh v ATC manual of operations. Plánovač by mal komunikovať s hlavným ATC pred odoslaním správy prípadne ho informovať hneď ako tak vykoná.

4.3. Možné útoky voči CPDLC

Komunikačné systému sa môžu stať terčom protiprávneho konania, ako pri hlasovej rádio komunikácii aj pri CPDLC existuje riziko napadnutia systému treťou osobou.

Odpočúvanie je základným typom útoku. Vykonáva sa keď neoprávnené osoby odpočúvajú, alebo monitorujú komunikáciu medzi jej účastníkmi bez ich oprávnenia. Je to najjednoduchší typ útoku keďže nie je vyžadovaný žiadny druh aktivity od útočníka. Potrebné je len zaobstaranie zariadenia určeného pre odpočúvanie a dekódovanie správ. V prípade CPDLC sa jedná o zariadenie schopné zachytávať signál a software určený na jeho zobrazovanie. Keďže zasielané správy nie sú šifrované je tento proces uľahčený. Tento útok priamo neovplyvňuje zasielané dáta ale môže slúžiť ako nástroj na pozorovanie a získavanie informácií na vykonanie ďalších útokov [3].

Pri CPDLC je možné odpočúvanie správ, vďaka ľahko dostupným SDR prijímačom ktoré zachytávajú signál a voľne dostupnému softwaru určeného pre zobrazovanie textových správ.

Rušenie je útok vykonávaný s úmyslom zabránenia prístupu k danej službe [8]. S rušením príjemcu má útočník snahu zablokovať jeho prístup službe tým že zníži kapacitu kanálu. To je dosiahnuté pomocou zahltenia kanálu dostatočne veľkými rušivými prvkami tak aby sa k príjemcovi nedostali žiadne použiteľné dáta. Zrušením daného uzla je útočník schopný zablokovať všetkých pripojených účastníkov. Príkladom môže byť frekvencia využívaná v koncovej oblasti letiska kde je rušením danej frekvencie ovplyvňované veľké množstvo účastníkov. Preto sú tieto vyťažované uzly zraniteľné a bez ochrany vystavované riziku. Avšak rušenie signálu je ľahko vystopovateľné za využitia smerového prijímača na získanie polohy vysielaného rušivého signálu. [3]

Útoky voči CPDLC boli demonštrované vo viacerých štádiách na rôznych úrovniach. Ukážeme si príklad dvoch rôznych demonštrácií, v prvej sa jedná o útok odpočúvania, v druhej komplexnejšie je pokus zašifrovania správy.

V prvej demonštrácii [9] bol vykonaný prvý typ útoku, odpočúvanie.

Použitie zariadenie: Pre zachytávanie VHF signálu bol použitý RTL-SDR prijímač model R820T2 RTL2832U pripojený na anténu. Toto zariadenie je voľne dostupný SDR prijímač schopný

zachytávať rádiové signály. Cena zariadenia sa pohybuje v rozmedzí 30 až 50 EUR za jednotku.

Použitý Software: Na dekódovanie správ bol využívaný software dumpvdl2. Je to voľne dostupný, komunitou vytvorený software, ktorý je určený na dekódovanie VDL2 dát zachytávaných na VHF rádio prijímač. Tento software je schopný dekódovať CPDLC protokol.

Miesto vykonania experimentu: Zachytávanie správ bolo vykonané vo Švédsku, v meste Štokholm v blízkosti medzinárodného letiska Štokholm-Arlanda (ESSA).

Priebeh experimentu: experiment bol vykonaný vo vzdialenosti približne jeden kilometer od stanovišťa riadenia letovej prevádzky. Za využitia softwaru boli zachytávané a dekódované správy na rádiových frekvenciách. Test trval jednu hodinu a zachytávané dáta boli ukladané do súborov vo forme textu.

Výsledky experimentu: Výsledkami testu sú dekódované CPDLC správy uložené v súboroch vo forme textu. V týchto správach je zachytená CPDLC komunikácia medzi lietadlom a ATC od počiatkovej fázy LOGON ako aj odovzdanie komunikácie medzi dvoma ATSU. Správy ďalej obsahujú rôzne informácie o frekvenciách, či uplink správy o zmene kurzu ako aj potvrdzovacie správy od pilotov.

Zhrnutie: Z výsledku testu môžeme usúdiť že prostriedky na vykonanie útoku odpočúvania sú ľahko dosiahnuteľné. Prijímač určený na zachytávanie VHF signálu je finančne dostupný a software určený na jeho dekódovanie je voľne dostupný verejnosti. Taktiež vykonanie samotného útoku a využívanie týchto prostriedkov nevyžaduje významné technologické zdatnosti útočníka.

Druhá demonštrácia [18], sa zameriava na odosielanie CPDLC správy v bezpečnom prostredí. Pre test boli použité dva počítače s pripojenými SDR. Prvý počítač, ktorý slúžil na zakódovanie a odoslanie správy, bol napojený na HackRF SDR. Je to zariadenie schopné prijímať, ale aj vysielat rádiový signál. Druhý slúžil na zachytenie odosielaného signálu pomocou rovnakého RTL-SDR ako v predošlom experimente.

Priebeh testu: Počas testu bola zakódovaná a odoslaná free text CPDLC správa ktorá bola následne úspešne zachytená a dekódovaná na druhom zariadení.

Výsledky testu: V teste sa úspešne podarilo odoslať a zachytiť správu vo formáte FANS 1/A CPDLC správy. Jednalo sa o free text správu s textom *TEST TEST TEST*. Počas testu však vykonávatelia narazili na problém so softwarom na zakódovanie správy.

Zhrnutie: Zatiaľ, čo odpočúvanie CPDLC komunikácie je finančne aj technologicky dostupné, zakódovanie a odosielanie správ je náročnejšie. Zariadenie určené na odosielanie správ, je 10 až 15krát drahšie, ako zariadenie určené na jej zachytávanie. Zároveň nie je voľne dostupný software na zakódovanie CPDLC správ. Hoci sa podarilo správu odoslať, systém CPDLC pri prijatí signálu, ktorý obsahuje nesprávnu formu alebo chybné informácie takýto signál ignoruje. Pri experimente je signál odosielaný na vzdialenosť 1m v uzavretom priestore, napriek tomu jeho zachytenie nebolo vždy úspešné. Zariadenia, potrebné na odoslanie signálu na veľké vzdialenosti, sú finančne nákladné a preto je riziko vykonania takéhoto útoku nižšie.

Podľa typu útoku rozdeľujeme aj potencionálnych útočníkov do dvoch základných skupín. Pasívny útočník je taký, ktorý neprichádza do priameho kontaktu s „obeťou“. Vykonať teda prvý útok, odpočúvanie. Ten je možné uskutočniť bez významných technických znalostí, pomocou lacno dostupných SDR a voľne dostupného softwaru. Aj keď takýto typ útoku nie je veľkou hrozbou, získavanie a šírenie dôverných informácií môže byť nápomocné pre útočníkov spadajúcich do druhej skupiny. Aktívny útočník, priamo zasahuje do fungovania daného systému. Využíva SDR schopné prijímať aj vysílať signál, zosilňovače a antény. So softwarom schopným dekódovať aj kódovať CPDLC správy môže vykonávať pokročilejšie útoky, priamo zasahovať do letovej prevádzky a ohrozovať jej bezpečnosť.

5. Analýza

5.1. Obdoba systému CPDLC pre všeobecné letectvo

Systém CPDLC je veľkým prínosom pre zvýšenie bezpečnosti a efektivity v leteckej doprave. Napriek tomu že jeho vývoj začal v 90. rokoch, jeho implementácia stále prebieha. Pri uvádzaní nového komunikačného systému do prevádzky, nastáva viacero problémov. Prvým je zabezpečenie fyzickej vrstvy teda telekomunikačnej siete. Dôležitým faktorom je aj inštalácia hardwaru do samotných lietadiel.

Honeywell CMU MKIII sa využívajú v lietadlách typu Business Jet, ktorých činnosti často patria do kategórie všeobecného letectva. Napriek tomu je však toto zariadenie stále cenovo nedostupné, pre väčšinu účastníkov letovej prevádzky, ktorých radíme do všeobecného letectva. Cena zariadení, ktoré umožňujú využívať systém CPDLC, je jedným z hlavných dôvodov prečo tento typ komunikácie nie je využívaný vo všeobecnom letectve.

Pojem všeobecné letectvo zahŕňa rôzne aktivity ako sú rekreačné lietanie, záchranné služby ale aj letecké práce. Podľa [19] je po celom svete viac ako 350 000 lietadiel a 700 000 pilotov spadajúcich do tejto kategórie.

Podľa údajov FAA (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION) je v Spojených štátoch Amerických registrovaných 167 000 jednomotorových lietadiel s pevným krídlom, 13 000 helikoptér a ďalších 23 000 ultraľahkých lietadiel čo predstavuje 90% zo všetkých civilne registrovaných lietadiel v USA. Viac ako 80% z 609 000 registrovaných pilotov vykonáva aktivity všeobecného letectva. Tí, vykonávajú viac ako 25 miliónov letových hodín ročne [10].

So stále sa zväčšujúcou hustotou letovej prevádzky, je nevyhnutné vyvíjať nové systémy ktoré budú prostriedkom k zvýšeniu bezpečnosti a udržateľnosti leteckej dopravy.

5.2. Návrhy vhodných sietí pre obdoba systému CPDLC

1. Medzi prvé možnosti siete pre nový komunikačný systém zaradujeme Starlink. Starlink je satelitná konštelácia, ktorej implementácia stále prebieha a je zabezpečovaná firmou SpaceX.

SpaceX, je americká súkromná spoločnosť založená v roku 2002 v USA, štát Kalifornia. Jej zakladateľom je Elon Musk, CEO, CTO spoločnosti SpaceX a CEO výrobcu automobilov Tesla. Táto spoločnosť sa zaoberá dizajnom, výrobou a prevádzkou

kozmickej lodí, ako aj vykonávaním vesmírnych misií. SpaceX v súčasnosti pracuje na viacero projektoch. Väčšina z nich sa uskutočňuje za spolupráce s NASA. Medzi tie patrí preprava nákladu a osôb na medzinárodnú vesmírnu stanicu, vývoj rakety slúžiacej pre medziplanetárnu prepravu. Jedným z projektov, je aj vytvorenie satelitnej konštelácie, ktorá bude poskytovať internetové pripojenie.

Špecifikácie systému:

Satelity konštelácie Starlink sa radia medzi kategóriu malých satelitov s hmotnosťou približne 227kg. Sú vybavené slnečnou clonou na zníženie odrazov od slnka čím znížili mieru „znečistenia oblohy“. Satelity sú umiestnené vo výške 550km nad zemským povrchom s inklináciou 53 stupňov. Na kontrolu polohy sú satelity vybavené motorom s Hallonovým efektom využívajúci kryptónový plyn ako palivo. Tieto motory slúžia aj na nasmerovanie satelitov späť do zemskej atmosféry po ukončení služby [11].

V súčasnosti spoločnosť SpaceX nasadila 1378 satelitov. Konečný počet satelitov schválených americkou FCC je 12 000. SpaceX však prostredníctvom FCC podala žiadosť na povolenie umiestniť ďalších 30 000 satelitov [11].

Rýchlosť prenosu dát sa v beta verzii pohybuje od 50 do 150 Mb/s. s oneskorením od 20 do 40 ms. Výkon siete sa však bude uvádzaním ďalších satelitov do prevádzky postupne zvyšovať [12].

Výzvy: Hlavnou výzvou pri voľbe tohto systému, je zachytávanie signálu. Fázová anténa ponúkaná spoločnosťou SpaceX má veľké rozmery a montáž na lietadlo nie je vhodná. Pozitívom je však jej schopnosť zachytávania signálu aj po umiestnení na rýchlo sa pohybujúce objekty.

Pri využití tohto systému, je však výhoda možnosti využitia rôznych zariadení schopných pripojenia na internet ako zobrazovacieho média. Tieto zariadenia sú cenovo veľmi dostupné.

Výzvou je však vytvorenie programu, v respektíve aplikácie, určenej na vykonávanie danej komunikácie. Problematickou časťou nie je samotný dizajn a spustenie aplikácie, ale skôr zabezpečenie integrity a zabezpečenia celého systému.

2. Druhou uvažovanou možnosťou je využitie satelitných podsietí, ktoré ponúkajú zariadenia určené na prijímanie/odosielanie správ. Medzi takýchto poskytovateľov patria konštelácie Iridium, Inmarsat a Thuraya. Jedná sa o konštelácie so satelitmi umiestnenými na geostacionárnej orbite zeme.

Iridium a Inmarsat. Sú to satelitné konštelácie so satelitmi na geostacionárnej orbite zeme. Na rozdiel od spoločnosti SpaceX a ich konceptu Starlink sa teda satelity nachádzajú v pomerne veľkej vzdialenosti od zemského povrchu. Na komunikáciu používajú menšie množstvo satelitov ktorých počet sa pohybuje okolo 80 funkčných satelitov. Výhodou týchto systémov je teda pokrytie a dostupnosť služby, ktorá zahŕňa celú zem. Nevýhodou je práve väčšie oneskorenie prijímaného signálu spôsobené veľkou vzdialenosťou satelitov od zemského povrchu. Takéto oneskorenie je však problematické prevažne pri vykonávaní hlasovej komunikácie, pri posielaní textových správ je menej znateľné.

Prijímacie zariadenie: Spoločnosti Inmarsat a Iridium ponúkajú datalink riešenia pre leteckú dopravu. Tieto zariadenia sú však pre vlastníkov menších jednomotorových lietadiel cenovo nedostupné. Ponúkajú aj možnosť využitia satelitných telefónov. Satelitné telefóny sú zariadenia schopné prijímať signál z geostacionárnych družíc a teda umožňujú hlasovú aj dátovú komunikáciu kdekoľvek na zemi.

Výhoda satelitných telefónov je ich cenová dostupnosť a pomerne nízke mesačné náklady za služby. Medzi základné funkcie pri satelitných telefónoch patrí automatické odosielanie správ s informáciou o súčasnej polohe používateľa. Využitie týchto služieb môže mať významný vplyv, pre zvýšenie bezpečnosti v oblasti všeobecného letectva. Pravidelné odosielanie polohy je vhodné prevažne v oblastiach, mimo dosah VHF rádio staníc.

Ponúka teda pilotom malých jednomotorových lietadiel, ktorý vykonávajú lety v odľahlých oblastiach, kde je VHF rádio komunikácia nedostupná, náhradný spôsob komunikácie. Vďaka nej môžu piloti zdieľať informácie o povahe daného letu, zvyšovať tým bezpečnosť letovej prevádzky, taktiež majú lepšiu možnosť komunikácie v prípade výskytu mimoriadnej situácie za letu.

Využitie satelitných telefónov poskytuje aj potrebné zabezpečenie. Keďže využívanie týchto zariadení pridáva používateľovi špecifické číslo, existuje teda transparentný spôsob overenia príjemcu a odosielateľa daných správ.

Medzi ich nevýhody však patrí práve spôsob komunikácie prostredníctvom jednotlivých správ. Komunikačný systém pre všeobecné letectvo za využitia datalink siete by mal slúžiť aj na zvýšenie bezpečnosti. Preto by s jednou funkciou daného systému mal byť systém ktorý pilotom umožňuje zdieľať zámery vykonávaného letu. Tým by sa dosiahlo zvýšenie bezpečnosti vďaka jednoduchšiemu prístupu k informáciám o využití konkrétneho letového priestoru.

Príklad využívania aplikácií na podobné účely môžeme pozorovať v prevádzke bezpilotných prostriedkov. Aplikácie, vytvorené na zvýšenie bezpečnosti ako aj vyššiu efektívnosť využitia letových priestorov. Ponúkajú možnosti na zdieľanie polohy a trate vykonávaného letu s bezpilotným prostriedkom ako aj komunikáciu medzi operátormi navzájom. Niektoré aplikácie spolupracujú aj s letovou prevádzkovou službou v danej krajine a umožňujú rýchlu a efektívnu komunikáciu v prípade potreby pre vykonanie plánovaného letu.

Platformou vhodnou pre využívanie práve takýchto služieb, je satelitná sieť spoločnosti Thruaya. Je to poskytovateľ mobilno-satelitných služieb sídlaci v Spojených arabských emirátoch.

Medzi hlavné nevýhody tejto konštelácie patrí práve jej vesmírny segment. Služby sú poskytované dvoma satelitmi na geo-synchronnej orbite Zeme. Satelity sa teda nachádzajú vo vzdialenosti viac ako 35 000 kilometrov od zemského povrchu. To má za dôsledok oneskorenie pri prenose signálu, to však nemusí nevyhnutne znamenať problém pri komunikácii formou textových správ. Najväčším problémom je však pokrytie územia, kde sú služby poskytované. Spoločnosť nezabezpečuje pokrytie nad územím severnej a južnej Ameriky. Je teda potrebné zvážiť využitie tohto systému keďže severná Amerika predstavuje jeden z najväčších trhov pre všeobecné letectvo.

Jedným z hlavných dôvodov prečo sme si zvolili práve poskytovateľa služieb Thuraya sú práve prijímacie a komunikačné zariadenia, ktoré ponúka. Táto spoločnosť, je jedným z prvých predajcov satelitných telefónov, s dotykovým displejom a operačným systémom android od spoločnosti Google. Práve dotykové prevedenie displeju je zásadným prvkom, ktorý poskytuje jednoduchosť ovládania a vysokú prehľadnosť daného systému čo je pri používaní za letu veľkou výhodou.

Vhodné prijímacie zariadenie pre náš systém je Thuraya Satsleeve plus. Jedná sa o zariadenie, ktoré dokáže ktorýkoľvek smartphone premeniť na satelitný telefón. Vďaka tomu je systém univerzálny a ľahko finančne dostupný, tým by sa zjednodušilo jeho uvádzanie do prevádzky a celková implementácia. Ďalšou výhodou systému, je jeho podpora komerčných komunikačných aplikácií a možnosť využívania týchto aplikácií aj v satelitnom móde. Taktiež ponúka možnosť súčasného pripojenia na mobilnej a satelitnej sieti a v prípade potreby, automatického prepájania medzi nimi. To predstavuje vysokú spoľahlivosť pripojenia a taktiež znížené náklady na prevádzku celého systému. Ako aj predošlé zariadenie, obsahuje funkciu SOS volania v prípade výnimočnej situácie [23].

Zhrnutie: Využitie satelitných podsietí je vhodným prvkom pre vytvorenie novej formy komunikácie pre všeobecné letectvo. Výhodou je vybudovaná infraštruktúra a fyzická vrstva, tá je základom pri tvorbe každého nového komunikačnej formy. Znamená to že pokrytie územia, v ktorom sú služby ponúkané zahŕňa väčšinu zemského povrchu. Väčšina poskytovateľov satelitného pripojenia, už v súčasnosti spolupracuje s leteckými spoločnosťami a výrobcami lietadiel. Ich skúsenosti a znalosti v oblasti leteckej dopravy sú teda veľkou výhodou, pri budovaní nového spôsobu komunikácie, v respektíve pri vytváraní jeho lacnejšej obdoby. Prijímacie zariadenia určené na komunikáciu sú cenovo dostupné, no vyžadujú pravidelné platby za poskytované služby. Vhodné sú práve zariadenia od spoločnosti Thuraya, ktorá poskytuje moderné dotykové zariadenie schopné súčasne udržiavať mobilné aj satelitné spojenie. Za najvhodnejšie považujeme práve zariadenie Satsleeve, ktoré umožňuje premenu bežného smartphone-u na satelitný telefón. Taktiež ako aj spomínaný Thuraya X5 touch disponuje možnosťou súčasného prepojenia. Možnosť používania komerčných aplikácií aj v satelitnom móde je ideálnou pre tvorbu novej formy komunikácie.

Výzvy: Výhodou satelitných podsietí je ich pokrytie. To však neplatí pri spoločnosti Thuraya, ktorá svoje služby neposkytuje nad územím Južnej a Severnej Ameriky. Výzvou do budúca je preto zabezpečenie pokrytie nad týmto územím, keďže predstavuje väčšinu kategórie všeobecné letectvo. Medzi hlavné výzvy patrí výroba vhodného prijímacieho zariadenia a softvérové riešenie samotnej komunikačnej platformy. Spomínané zariadenie Satsleeve, je veľmi vhodné a potrebuje minimálne úpravy pre jednoduchšiu inštaláciu a osadenie na palubnej doske lietadla. Hlavný dôraz pri vývoji nového systému, kde platforma na komunikáciu je vo forme aplikácie, musí byť na zabezpečenie a ochranu pred protiprávnymi zásahmi.

3. EAN (European Aviation Network) je sieť, ktorá ponúka riešenia integrovaného spojenia. Sieť pozostáva z kombinácie satelitnej siete a pozemnej 4G LTE. Táto kombinovaná sieť ponúka širokopásmové pokrytie nad územím

27 štátov Európskej Únie, Švajčiarska, Spojeného Kráľovstva a Nórska. Pokrytie zabezpečuje s-band satelit a približne 300 pozemných veží.

European Aviation Network vznikla za spolupráce viacerých spoločností. Dvaja hlavný partneri sú spoločnosti Immarsat a Deutsche Telekom AG. Immarsat je spoločnosť ktorá má skúsenosti s riešeniami pre leteckú dopravu a zabezpečuje satelitné pripojenie tejto siete, so satelitom Ariane 5, vyneseným na orbitu v roku 2017. Spoločnosť Deutsche Telekom AG zabezpečuje sieť pozemných veží. EAN umožňuje nadviazanie nepretržitého spojenia aj pri rýchlosti pohybu prijímacieho zariadenia do 1200Km/h vo výškach 35 000ft. Vďaka kombinovanej forme siete, je neustále vyhodnocovaná kvalita pripojenia. Automatické prepínanie medzi satelitným a 4G LTE prepojením zabezpečuje nepretržité pripojenie s optimálnym výkonom. Vďaka technológii siete sa dosahujú dátové prenosy až do 100 Mb/s pre download a 20 Mb/s upload s kapacitou 90 Gb/s [13].

Inštalácia systému pre užívateľa trvá približne 7hodín čo ponúka rýchlu implementáciu do praxe. Na lietadle sú umiestnené dve antény, na vrchnej a spodnej strane trupu lietadla. Vrchná anténa slúži na pripojenie k satelitu a spodná na prijímanie signálu od pozemných veží. [13].

4. Pri tvorbe nového komunikačného systému patrí medzi najkritickejšie časti fyzická vrstva [16]. Sieť 5G je novým stupňom evolúcie mobilnej komunikácie. Nasadenie siete začalo v roku 2019 a jeho rozvoj rýchlo pokračuje. Viac ako 38 krajín už nasadilo 5G technológiu a v mnohých ďalších sú plánované investície do tejto siete. [14] Podľa odhadov a predošlých skúseností s implementáciou 4G siete, bude do roku 2023, prevládajúcou sieťou vo väčšine krajín sveta.

Užívateľská rýchlosť je predpokladaná na 100Mb/s pre download a 50Mb/s upload. 5G ponúka vysokú hustotu pripojenia približne milión pripojených zariadení na kilometer štvorcový. Pripojenie za pohybu by malo byť možné pri rýchlostiach od 1 až po 500km/h. V porovnaní s LTE sieťou je to rozhodne obmedzujúci faktor [15].

Medzi hlavné nevýhody tejto siete však patrí samotný dosah signálu. Jedná o vysoko frekvenčné pásmo s nízkym výkonom prijímaného signálu. Útlmy trasy limitujú dosiahnuteľnú komunikačnú vzdialenosť a pokrytie priestoru pozemnými stanicami. Riešením toho problému je husto vybudovaná infraštruktúra, ktorú pri 5G sieti pozorujeme. Nie je však riešením pre dosah signálu vo vertikálnej rovine a teda jedná sa o zásadne obmedzujúci faktor. [16]

5.3. Porovnanie skúmaných návrhov

Ako sme uviedli v predošlej kapitole, pri vytváraní nového komunikačného systému je jedným z najdôležitejších faktorov fyzická vrstva danej siete. Preto sme pri voľbe vhodných riešení vybrali siete, ktorých infraštruktúra je už vybudovaná alebo v procese implementácie.

Navrhované možnosti môžeme podľa typu siete rozdeliť do troch kategórií:

- Mobilné
- Satelitné

- Kombinované

Pri analyzovaní a porovnávaní jednotlivých možností, je potrebné sledovať viacero faktorov: cenovú dostupnosť, jednoduchosť implementácie, spoľahlivosť a výkonnosť siete, vhodnosť pre využitie v leteckej doprave.

Keďže vyberáme vhodný systém pre všeobecné letectvo, je dôležité dbať na cenovú dostupnosť. A to ponúkaných služieb, ale aj palubného vybavenia. Keď sa pozeráme na jednoduchosť implementácie a cenu palubného vybavenia, jednoznačne prevažujú mobilné siete ako 5G alebo 4G LTE, ktoré aj dnes využívame v každodennom živote. Mobilné zariadenia sú dnes súčasťou životov väčšiny ľudí a to znamená aj uľahčenie celého procesu a zníženie nákladov konečného spotrebiteľa. Ekonomickým riešením je aj Thuraya Satsleeve, pri ktorom je taktiež možnosť využitia mobilných zariadení a združuje mobilné a satelitné siete čo ponúka lepšie pokrytie aj spoľahlivosť.

Ponúkané riešenia predstavujú siete, ktoré už implementáciou prebehli alebo ich implementácia prebieha. Z tohto hľadiska sú práve zaujímavé riešenia 5G a Starlink, ktoré predstavujú budúcnosť komunikačných sietí. Uskutočňované investície do ich realizácie sú dôležitým faktorom, ktorý implikuje ich priaznivý vývoj v budúcnosti.

Vo výkonnosti opäť vynikajú spomínané siete, ktoré predstavujú riešenia do budúcnosti a to Starlink a 5G. Keďže sa jedná o nové technológie môže problémy spôsobovať práve spoľahlivosť, ktorá je u zavedených sietí EAN a Thuraya na vysokej úrovni. Satelitné siete taktiež ponúkajú významné pokrytie, ktoré je tiež nevyhnutné pre vývoj komunikačného systému v leteckej doprave.

6. Záver

Po preskúmaní dostupných prameňov a vyhodnotení získaných poznatkov sme dospeli k finálnym záverom. CPDLC slúži ako sekundárny komunikačný systém ku hlasovej komunikácii. Jeho využívanie je momentálne obmedzené na získavanie odletových povolení (CPDLC-DCL) alebo na komunikáciu pri lete po letových cestách. Narušenie fungovania tohto systému, z dôvodu jeho poruchy alebo protiprávnemu zásahu, nemá priamy vplyv na ohrozenie bezpečnosti letovej prevádzky. Je však známe, že letecké nehody, zväčša nie sú spôsobené zlyhaním jediného systému, ale sériou faktorov vedúcich ku katastrofe. Je preto nevyhnutné maximalizovať bezpečnosť a spoľahlivosť každého systému. Počas analýzy vplyvov CPDLC na bezpečnosť letovej prevádzky sme narazili na problémy s jeho zabezpečením. CPDLC disponuje nedostatočným zabezpečením pred protiprávnymi zásahmi. S postupom vývoju technológií a dostupnými vysokovýkonnými zariadeniami (SDR) je možné zachytávať signál a dekodovať ho na textovú podobu [18]. Vykonalé pokusy [9] ukazujú aj na schopnosť týchto zariadení obdobnú správu zakódovať a následne odvyselať. Keďže kľúčové slúžiace na overovanie príjemcu/odosielateľa sú voľne dostupné, vzniká riziko narušenia dôveryhodnosti odosielaných správ.

Ďalšie faktory znižujúce bezpečnosť využívania systému, spočívajú v postupoch a jeho dizajne. Keďže sa jedná o komunikáciu formou textu výhradne medzi pilotom a riadiacim, znižuje sa všeobecný rozhľad pilotov o situácii v danom priestore. Nebezpečné situácie ktoré sa môžu vyskytnúť popisuje portál Skybrary, ktorý vznikol z iniciatívy

spoločnosti Eurocontrol a partnerstvom s ICAO. Jedná sa o portál zameraný na vzdelávanie v oblasti bezpečnosti v leteckej doprave. Systém môže znamenať aj riziko pri využívaní v časovo kritických situáciách [17]. Problém spočíva v nedostatočnom definovaní takýchto situácií a teda vytvorenie priestoru na pochybenie. Dôležité je aj správne využívanie viacprvkových správ. Textové správy neponúkajú voľnosť prejavu ako hlasová komunikácia a pri 5 prvkovej správe, nesúhlas s jediným prvok rezultuje v negatívnu odpoveď a nutnosť opakovania.

Pri skúmaní systému sme sa zamerali aj na jeho vplyv, na zvýšenie efektivity letovej prevádzky. Medzi hlavné prínosy patrí práve súčasť systému CPDLC-DCL. Tento systém slúži na získavanie odletových povolení pomocou textových správ. Momentálne je v USA implementovaný na viac ako 60 letiskách [6]. Jeho hlavným prínosom je skrátenie času potrebného na získanie odletových povolení, uvoľňovanie rádiových frekvencií a zjednodušenie príjmu veľkého množstva informácií. Považujeme za dôležité zabezpečiť celosvetovú implementáciu tohto systému.

CPDLC má významný vplyv na zmenšovanie rozstupov na letových cestách a umožňovania hustejšej letovej prevádzky. Pomáha aj ku znižovaniu emisií a výdavkov práve prostredníctvom lepšieho využitia najviac efektívnych letových ciest. Takmer 10 miliónov letov vykonaných s použitím systému CPDLC, dokázalo ušetriť viac ako 1,8 milióna letových hodín [5]. Je teda zrejme že tento systém má významné ekonomické aj ekologické prínosy pre leteckú dopravu a s jeho postupnou implementáciou sa budú stále zvyšovať.

Vytvorenie obdobného systému CPDLC pre všeobecné letectvo považujeme za významný krok, ku zvýšeniu efektivity a udržateľnosti leteckej dopravy. Pri skúmaní tejto témy sme narazili na obmedzené množstvo dostupných informácií. Veľká časť z malého množstva publikácií sú neaktuálne. Niektoré publikácie sa danej téme venujú, no prevažne so zameraním na komunikačnú sieť pre tento systém. Väčšina informácií pri spojení CPDLC a všeobecné letectvo popisuje dostupné systémy, ktoré sa využívajú v lietadlách typu Business Jet a teda nie sú cenovo dostupné pre náš zámer.

Všeobecné letectvo predstavuje významnú časť leteckej dopravy. Podľa FAA je len v Spojených Štátoch Amerických je registrovaných viac ako 200 000 lietadiel a viac ako 450 000 pilotov vykonávajúci činnosti všeobecného letectva [10]. Tí vykonávajú približne 25 miliónov letových hodín ročne a 54 miliónov interakcií s riadením letovej prevádzky [19].

Stále sa rozrastajúce odvetvie všeobecné letectvo predstavuje významnú súčasť letovej prevádzky ako aj zaťaženie rádiových frekvencií, čo vyplýva z uvedených štatistík. Zavedenie obdoby systému CPDLC pre toto odvetvie leteckej dopravy, môže mať významný vplyv na udržateľnosť letovej prevádzky. Za zásadnú časť považujeme vytvorenie systému DCL. Ten považujeme za jeden zo zásadných prvkov pre zvýšenie efektivity. Veríme že DCL systém je vhodným vstupným bodom pre vytvorenie datalink komunikácie vo všeobecnom letectve.

V druhej časti, sme sa z dôvodu nedostatku odbornej literatúry, zamerali na výber vhodných možností komunikačných sietí, ich analýzu a porovnanie. V hlavnej časti práce sme rozobrali vhodnosť každej siete pre vytvorenie obdoby tohto systému.

Nasledujúca tabuľka ponúka výsledky a porovnanie parametrov jednotlivých sietí.

Tabuľka 1: Parametre jednotlivých komunikačných sietí. Zdroj: Autori na základe [12], [20], [21], [22], [23].

	STARLINK	SATCOM Iridium/In marsat	SATCO M Thuraya	EAN	5G
Cena/mesiac [EUR]	82	40-200	30-180	Neznáme	30-90
Cena/ prijímacie zariadenie [EUR]	410	500-1200	500	100-1000	100-1000
Pokrytie	Neznáme V budúcnosti globálne	Celosvetové	Európa/Ásia	Európa	Takmer celosvetové
Výkonnosť	50-150Mb/s	176-705Kb/s V budúcnosti 1400Kb/s	384-444Kb/s	100 Mb/s	400 Mb/s -1,8 Gb/s
Spoľahlivosť	Stredná	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká
Stav implementácie	Prebieha	Dokončená	Dokončená	Prebieha	Prebieha

Z porovnania základných parametrov jednotlivých sietí je zrejme že každá z nich je špecifická a ponúka rôzne výhody. Nie je preto možné jednoznačne vybrať sieť, vhodnú pre implementáciu nového systému. Pri väčšine predstretých možností, implementácia stále prebieha, ako aj investície do budovania infraštruktúry. Je to teda neznámy parameter. Z hľadiska perspektívy dostatočného pokrytia potenciálu sú najzaujímavejšie siete 5G a Starlink.

Veríme že vhodnou sieťou pre CPDLC systém je práve sieť 5G. Jedná sa o riešenie, ktoré ponúka vysoký výkon, rýchlosť prenosu a aj vysokú kapacitu používateľov na kilometer štvorcový. Je to dostupná sieť s dostačujúcou spoľahlivosťou, implementovaná v husto obývaných oblastiach a teda aj v oblasti veľkých medzinárodných letísk. Vhodnosť tejto siete spočíva aj v nákladoch na pripojenie. Podmienkou nového systému je cenová dostupnosť. Využitie 5G siete ponúka najnižšie mesačné cenové náklady. Možnosť pripojenia prostredníctvom mobilných telefónov znižuje náklady na kúpu prijímacieho zariadenia a zjednodušuje celkovú implementáciu systému do praxe.

Medzi zásadné nevýhody 5G siete patrí dosah signálu, ktorý je približne 300m. Práve z toho dôvodu vidíme využitie pre systém CPDLC-DCL. Ten sa využíva v čase keď sa lietadlo nachádza na letiskovej ploche a preto nie je dosah siete obmedzujúci faktor.

Myslíme si že vytvorenie cenovo dostupnej obdoby systému CPDLC je dôležitým krokom pre zvýšenie efektivity leteckej dopravy a zníženie pracovného zaťaženia radiacích letovej prevádzky. V budúcnosti je potrebné sa venovať hlbšiemu rozboru dostupných sietí ale aj celkovému dizajnu komunikačného systému. Ten spočíva v kombinácii výberu vhodnej siete, zobrazovacích zariadení a komunikačnej platformy napríklad vo forme aplikácie. Pri tvorbe tohto systému považujeme za dôležité vytvoriť aj dostatočné zabezpečenie pred protiprávnymi zásahmi.

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] Doc 10037, ICAO Global Operational Data Link Document (GOLD), Second Edition-26 April 2013
- [2] A. Erzell - Roger Li, "Improving air navigation service for general aviation by using data-link," 2007 IEEE/AIAA 26th Digital Avionics Systems Conference, 2007, pp. 4.C.6-1-4.C.6-11, doi: 10.1109/DASC.2007.4391912.
- [3] Gurtov, A.-Polishchuk, T.- Wernberg, M. Controller–Pilot Data Link Communication Security. *Sensors* 2018, 18, 1636. <https://doi.org/10.3390/s18051636>
- [4] Eurocontrol, Data link Network Operational Status Report, February 21 Dostupné na: https://ext.eurocontrol.int/WikiLink/images/a/a3/2021-02_DL_Status_February_2021.pdf.
- [5] CPDLC departure Clearances, dostupné online na: <http://uasc.com/home/nextgentechologies/cpdlcdepartureclearance> (citované 2021-02-10)
- [6] FAA data communications user information, dostupné online na: <https://www.l3harris.com/datacomm>, (citované 2021-02-5)
- [7] Amanda Grizzard, 2018. Getting it Right -CPDLC Departure Clearances, Dostupné na: <https://www.uasc.com/home/hub/enews/enews/2018/02/15/getting-it-right---cpdlc-departure-clearances>, (citované 2020-02-20)
- [8] Grover K. - Lim, A.- Yang, Q. Jamming and anti-jamming techniques in wireless networks: A survey. *Int. J.Ad Hoc Ubiquitous Comput.* 2014, 17, 197–215.
- [9] Sestorp, I. - Lehto, A. (2019). CPDLC in Practice: A Dissection of the Controller Pilot Data Link Communication Security (Dissertation). Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-159840>.
- [10] Air traffic by the numbers, 2020, dostupné online na: https://www.faa.gov/air_traffic/by_the_numbers/ (citované 2021-02-20)
- [11] Space News, Celeb Henry, (08/15/2019) dostupné na <https://spacenews.com/spacex-submits-paperwork-for-30000-more-starlink-satellites/> (citované 2021-04-03)
- [12] <https://www.starlink.com/> (citované 2021-03-12)
- [13] How we did it(08/06/2020) dostupné online na: <://www.europeanaviationnetwork.com/en/news/how-we-did-it--the-european-aviation-network-is-one-giant-step-c.html> (citované 2021-03-18)
- [14] Where 5G Technology Has Been Deployed, Katharina Buchholz, (14/08/2020) dostupné online na: <https://www.statista.com/chart/23194/5g-networks-deployment-world-map/> (citované 2021-04-04)
- [15] What is 5G, Christian De Looper (15/03/2021), dostupné online na: <https://www.digitaltrends.com/mobile/what-is-5g/> (citované 2021-04-02)
- [16] W. Wang et al., "Empowering Heterogeneous Communication Data Links in General Aviation through mmWave Signals," in *IEEE Wireless Communications*, vol. 26, no. 6, pp. 164-171, December 2019, doi: 10.1109/MWC.0001.1800593.
- [17] CPDLC general safety considerations, dostupné online na: https://www.skybrary.aero/index.php/CPDLC_General_Safety_Considerations (citované 2021-02-12)
- [18] S. Eskilsson- H. Gustafsson- S. Khan - A. Gurtov, "Demonstrating ADS-B AND CPDLC Attacks with Software-Defined Radio," 2020 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2020, pp. 1B2-1-1B2-9, doi: 10.1109/ICNS50378.2020.9222945
- [19] Report on Gejeral Aviation Trends, 2019, dostupné online na: http://download.aopa.org/hr/Report_on_General_Aviation_Trends.pdf (citované 2021-03-11)
- [20] How much will we pay for 5G,GSMA Intelligence, (13/06/2019) <https://www.mobileworldlive.com/blog/intelligence-brief-how-much-will-we-pay-for-5g> (citované 2021-04-05)
- [21] <https://www.thuraya.com/> (citované 2021-04-15)
- [22] 5G speed tests, Jessica Dolcourt, (03/06/2019) dostupné online na: <https://www.cnet.com/features/we-ran-5g-speed-tests-on-verizon-at-t-ee-and-more-heres-what-we-found/> (citované 2021-03-27)
- [23] Thuraya satellite Satsleeve, dostupné online na: <https://www.amazon.com/Thuraya-satellite-Satsleeve-Smartphones-Android/dp/B015HS4O1K> (citované 2021-03/29)
- [24] Kandera, B. 2015. Letecké prístroje. Bratislava : DOLIS, 2015. - 204 s., ilustr. - ISBN 978-80-8181-017-6.
- [25] 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

MEASURING OF PILOT WORKLOAD

MERANIE PRACOVNEJ ZÁŤAŽE PILOTA

Dávid Plichta
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
plichta5@stud.uniza.sk

Iveta Škvareková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
skvarekova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of our paper is to analyse the issue of measuring of workload and subsequently carry out our own measures of pilot workload on pilots of different skill level. These measures took place in a simulator, mainly due to safety of air traffic. The chosen phase of flight had been approach and landing, which represents the most difficult phase. We had also chosen two airports, where one presents an airport known to the pilot and the other unknown. This decision relates to the opinion, that the pilot workload is significantly lower has he experience with the airport.

Keywords

Workload, pilot, stress, physiological functions, heart

1. Úvod

Odjakživa sa v leteckej doprave kládol dôraz najmä na bezpečnosť. Letecké nehody vznikali z technických príčin, ale s postupom času a vývoja tohto hardwaru sa stali častejšími nehody zapríčinené ľudskou chybou. Pilot musel monitorovať čím ďalej tým viac prístroje potrebné na vykonanie letu. Práve tieto prístroje mu na jednej strane uľahčovali určité úlohy, ale na druhej strane vyžadovali jeho pozornosť a sústredenie.

Faktorov zvyšujúcich pracovnú záťaž pilota je veľké množstvo. V našej bakalárskej práci sa budeme venovať spôsobom merania tejto záťaže a v praktickej časti sa pozrieme na vplyv oboznámenosti s letiskom pristátia a na pracovnú záťaž spojenú s týmto úkonom. Je taktiež podstatné dodať, že dôležitú úlohu budú hrať aj skúsenosti vedúceho lietadla, jeho fyzický a psychický stav a ďalšie faktory.

Samotný vplyv letiska bude analyzovaný na základe porovnania údajov merania z dvoch letísk, pričom skúsenosti budú mať participanti iba s jedným z nich. Nebude chýbať ani meranie v pokoji, ktoré nám povie viac o každom z jednotlivých pilotov. Za hlavný cieľ považujeme zodpovedanie otázky, či má skúsenosť s letiskom vplyv na pracovnú záťaž. V prípade kladnej odpovede je však ďalej potrebné identifikovať aký má tento vplyv charakter a mieru.

Kvôli bezpečnosti sme sa rozhodli vykonať merania na simulátore, konkrétne L-410 UVP-E20. Ten nám poskytne výraznejšie hodnoty, a teda jasnejšie informácie, z ktorých bude možné vyvodiť jednoznačné závery. Čo najpresnejším výsledkom napomôže aj meracie zariadenie, ktoré svojou malou veľkosťou nebude rušivé pre pilota a teda neovplyvní let ani namerané hodnoty.

2. Stres a pracovná záťaž

Najčastejšou definíciou stresu sú odpovede, resp. reakcie ľudského tela na vonkajšie vplyvy a úlohy naň kladené. Tieto samotné reakcie však vznikajú za predpokladu, že telo vníma podnet. Toto vnímanie môže byť ovplyvnené množstvom adrenalínu, odpútaním pozornosti a ďalšími faktormi.

Pre účely merania je takmer nemožné určiť stres ako biologický jav, avšak námaha fyzická, ako aj psychická môže byť meraná pomocou zmien tlaku krvi, tepu, hmotnosti a inými zmenami.

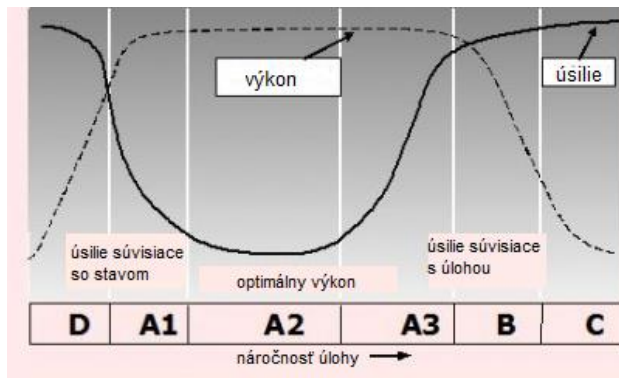
Nedostatočná stimulácia v každodennom živote zapríčiňuje psychický nepokoj. V extrémnych prípadoch môže dôjsť až ku chronickému ochoreniu. Primeraný stres je prínosný jav v živote, ale vysoký stres sa spája s psychickými a fyzickými reakciami ako:

- potenie,
- únava,
- ťažkosti s dýchaním a ďalšie. [5]

Pri pilotovaní sú kritické prijatie informácií, ich filtrácia, spracovanie a následné rozhodnutie o správnom postupe spolu s jeho vykonaním. Tieto aktivity je nutné vykonať čo najpresnejšie a najrýchlejšie, najmä pri hustej prevádzke. Tento psychologický tlak môže jednoducho spôsobiť chyby a to aj pri najzákladnejších úkonoch. Práve tieto úkony sa dlhodobo preukazujú ako najviac zlyhávajúce.

Pracovná záťaž sa dá v jednoduchosti definovať ako súhrn požiadaviek kladených na človeka. Táto definícia je však nepostačujúca, pretože predpokladá iba externé požiadavky. Pre úplnosť je nutné zvážiť aj interné podnety, ktoré čerpajú ľudské zdroje.

Špecifická úloha môže prinášať rozdielne pracovné zaťaženie v rôznych obdobiach aj pre jednu osobu. Tento jav je najčastejšie spôsobený psychickým alebo fyzickým stavom človeka. Z tohto vyplýva, že meranie pracovnej záťaže je citlivou záležitosťou, pri ktorej treba brať do úvahy aj faktory, ktoré na prvý pohľad nesúvisia s vykonávanou činnosťou. [7]



Obrázok 1: Vzťah medzi pracovnou záťažou a výkonom.
Zdroj: [1].

Obrázok 1 obsahuje 6 oblastí so stúpajúcou náročnosťou úlohy. Pod náročnosťou úlohy sú myslené najmä požiadavky, ktoré sú kladené na človeka vykonávajúceho úlohu. V prvej oblasti označenej D (deaktivácia), napriek minimálnej náročnosti úlohy, je výkon nízky. Je to zapríčinené ovplyvneným stavom človeka, konkrétne napríklad únavou alebo rozptýlením. Z týchto dôvodov nie je osoba schopná vykonať úlohu efektívne alebo vôbec.

V oblasti A1 dochádza ku optimálnejším výsledkom pre stále nízku náročnosť. Výkon rastie až do svojho maxima, pričom úsilie naopak klesá. Osoba venuje zvýšenú pozornosť danej úlohe, čo jej umožňuje vykonávať ju efektívnejšie.

Oblasť A2 predstavuje ideálnu situáciu, kedy výkon je maximálny a úsilie minimálne. Osoba je vďaka jej primeranej náročnosti plne sústredená na úlohu. Inými slovami táto úloha je primeraná schopnostiam konkrétneho človeka.

Pri náročnejšej úlohe už schopnosti samy o sebe nie sú postačujúce a pre efektívnu prácu sa vyžaduje zvýšené úsilie. Tento stav je vyznačený v oblasti A3. Výkon však stále ostáva na špičke na úkor ľudskej energie. Osoba v tomto prípade bude vyčerpaná za kratší čas.

V oblasti B sa úloha stáva príliš ťažkou pre konkrétnu osobu, ktorá napriek zvýšenému úsiliu nedokáže podať optimálny výkon. Dá sa predpokladať, že úloha bude splnená, avšak za dlhší čas a zapríčiní vysokú únavu.

Posledná oblasť popisuje absolútne neprimeranú úlohu, pri ktorej môžeme očakávať minimálny až žiadny výkon, napriek maximálnemu úsiliu. Na spätné zvýšenie výkonu je nutné znížiť náročnosť úlohy, prípadne poskytnúť osobe dodatočný tréning, oddych alebo nasadiť inú osobu.

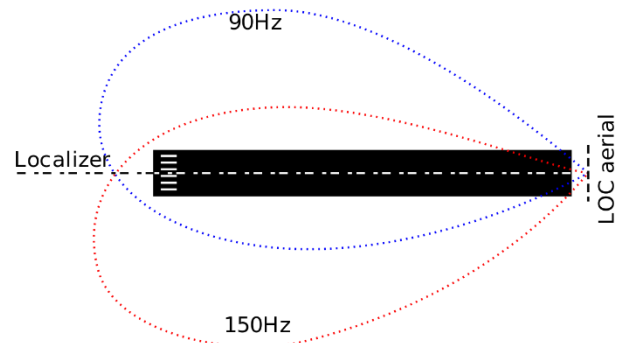
3. Instrument landing system

Jedným z najstarších a napriek tomu najprecíznejších certifikovaných systémov je ILS (Instrument Landing System). Predstavuje stále najrozšírenejší systém presného prístrojového

priblíženia. Jeho kľúčovou úlohou je navádzanie na pristátie aj pri zníženej dohľadnosti, ktorá môže byť spôsobená rôznymi meteorologickými javmi.

Tento systém poskytuje pilotovi pri finálnom priblížení nepretržitú informáciu o vedení lietadla v horizontálnej a vertikálnej rovine. Pilotovi teda umožňuje vyhodnotiť polohu lietadla a zároveň odchýlku od osi dráhy a zostupovej roviny. [4]

3.1. Localizer



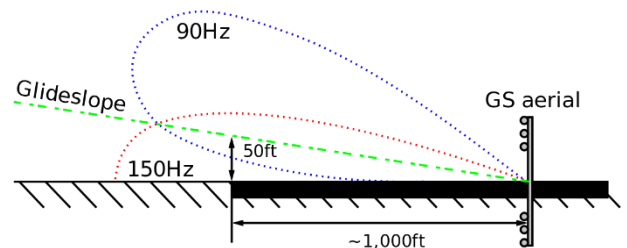
Obrázok 3: Localizer. Zdroj: [3].

Kurzový rádiomajak pracujúci v pásme veľmi krátkych vln, nazývaný aj „Localizer“, vytvára virtuálnu rovinu, ktorá je kolmá na rovinu vzletovej a pristávacej dráhy. Nachádza sa 400 metrov za prahom dráhy a poskytuje smerové vedenie. Signál, ktorý vysiela je amplitúdovo modulovaný, pričom nosná frekvencia vľavo má 90 Hz, zatiaľ čo frekvencia vpravo má 150 Hz.

Používané frekvencie sa nachádzajú v rozmedzí medzi 108,1 a 111,95 MHz s nepárnym desiatinným číslom. Jeho dosah je 25 NM s rozsahom 10° na každú stranu. V rozsahu 35° je dosah 17 NM.

Tento komponent je veľmi citlivý a krajné polohy sa nedajú stanoviť, nakoľko jeho šírka je daná dĺžkou dráhy. Na prahu dráhy však dosahuje hodnotu 210 m. Krajné polohy palubného indikátora sú dané predpisom L10 a nachádzajú sa v rozmedzí 3-6°. [4]

3.2. Glide path



Obrázok 4: Glide Slope. Zdroj: [3]

Okrem smerového vedenia sa pri priblížení na pristátie vyžaduje vertikálne vedenie, ktoré je zabezpečené GP (Glide Path). Tento komponent vysiela v pásme ultrakrátkych vln na frekvenciách 329,3 MHz – 335 MHz. Anténa sa zvyčajne nachádza 300 m od prahu dráhy, 120 m od okraja. Zostupový uhol sa najčastejšie nachádza v rozpätí 2 – 4°, avšak existujú aj väčšie a závisia od

prekážok v okolí letiska. Pilot sa musí do určitej výšky, nazývanej DA (Decision Altitude), rozhodnúť či na dráhe pristane alebo vykoná nepodarené priblíženie, ktoré sa často publikuje aj v približovacej mape. Predpisom L10 je požadované signálové pokrytie +/- 8° od osi dráhy minimálne do vzdialenosti 10 NM. [4], [8], [9].

4. Metodika merania

Predmetom skúmania našej práce je meranie pracovnej záťaže pilota. Konkrétne sme sa zamerali na jej porovnanie pri letisku s ktorým má pilot skúsenosti a letisku na ktoré letí prvýkrát. Aby bolo možné toto porovnanie vykonať museli sme pred samotným meraním nastudovať adekvátne materiály. Medzi ne patrili nie len IFR (Instrument Flight Rules) postupy potrebné najmä na vykonanie samotného letu, ale aj doterajšie výskumy podobného charakteru a ďalšia relevantná teória problematiky.

4.1. Príprava IFR letu

Pred vykonaním IFR letu musí licencovaný pilot alebo žiak vykonať pozemnú prípravu. Tá sa bežne uskutočňuje v tzv. „briefingovej“ miestnosti, ktorú letecké spoločnosti a letecké školy zavádzajú práve za týmto účelom. Profesionálny pilot sa však na let ideálne pripravuje minimálne deň vopred. Najmä vo veľkých spoločnostiach je tento proces výrazne zrýchlený ďalšími zamestnancami, ktorí majú na starosti letový plán, počasie, správy NOTAM (Notice to Airmen), atď. Samotnému pilotovi stačí si dokumentáciu pred letom vyzdvihnúť, resp. vytlačiť a skontrolovať. V prípade nálezu nezvyčajných alebo nebezpečných okolností informuje posádku a navrhnú postup a riešenie možných problémov.

4.2. Letisko LZZI

Participantom bolo známe letisko Žilina – Dolný Hričov (LZZI). Pre meranú fázu priblíženia sme teda zvolili ILS CAT (category) 1 priblíženie podľa prístrojov na vzletovú a pristávaciu dráhu 06. Tento postup je často vykonávaný žiakmi LVVC (Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum).

Z dôvodu pandémie v čase merania sme však nedokázali vyplniť plánovaný počet subjektov a museli sme teda merať aj pilotov, ktorý síce poznajú LZZI ale nemajú skúsenosti s prístrojovým priblížením. Predpoklad bol, že napriek tejto neskúsenosti piloti preukážu nižšiu pracovnú záťaž ako pri úplne cudzom letisku. Tento úsudok sme založili na fakte, že aj VFR (Visual Flight Rules) skúsenosti pomôžu testovaným pilotom pri úkonoch. Navyše už podstúpili teóriu letu podľa prístrojov.

4.3. Letisko LHBP

Na porovnanie sme zvolili letisko na ktoré žiadny z participantov neletel, a to Medzinárodné letisko Ferenc Liszta v Budapešti, LHBP. Išlo opäť o ILS, konkrétne na dráhu 13L. Tento prílet sa líši nielen rozdielnymi hodnotami výšok a pod., ale zahŕňa zároveň postup DME Arc, s ktorým sa neskúsenejší participant ešte v praxi nestretli.

Ďalším špecifikom oproti LZZI bola nutnosť monitorovania viac než jednej frekvencie rádionavigačného zariadenia. Neskúsení participant sa rozhodli s touto okolnosťou vysporiadať spoluprácou viacčlennej posádky, kde monitorujúci pilot mal nastavenú jednu frekvenciu a pilot letiaci druhú. Ide o

neštandardný postup, ktorý sa v reálnej prevádzke nepoužíva, avšak zhodnotili sme, že výsledky merania neovplyvní.

4.4. Meracie zariadenie

Ako meracie zariadenie sme zvolili EHRV CorSense, ktorý okrem svojej ideálnej veľkosti disponuje aj vysokou presnosťou a spoľahlivosťou. Tento prístroj slúži práve na meranie HRV pomocou detekcie pulzu použitím 500 hertzového viacvlnového pola snímačov. Nasadzuje sa na prst, pričom poskytuje okamžité výsledky v reálnom čase, vyhodnocuje ľahko čitateľné skóre určené najmä pre domáce použitie, ale aj hlbšiu analýzu vhodnú pre odborné účely. V nižšie uvedenej tabuľke sa nachádzajú špecifikácie zariadenia.



Obrázok 5: EHRV CorSense. Zdroj: [2].

4.5. Simulátor

Merania sa vykonali na simulátore L-410 UVP-E20 na pôde LVVC. Tento simulátor bol vybraný z dôvodu jeho technologickej vybavenosti, ale aj komplexnosti, ktorá umožnila dosiahnutie ľahšie čitateľných a porovnateľných výsledkov.

Zariadenie poskytuje priestor pre dvojčlennú posádku, inštruktora, monitorovacie centrum a inštaláciu technického vybavenia. Ďalej umožňuje simuláciu dennej aj nočnej prevádzky a možné poruchy typu letúna.

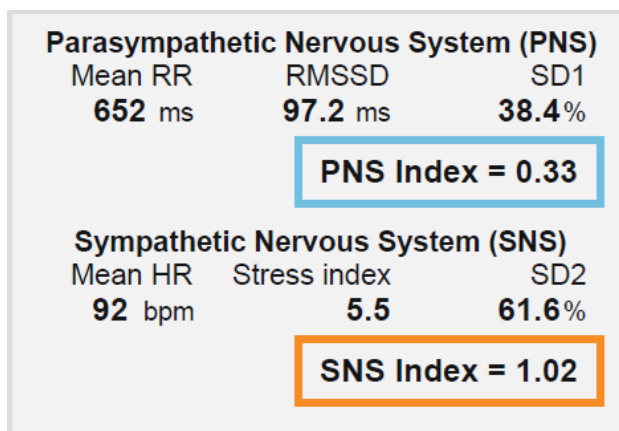


Obrázok 6: Simulátor L-410. Zdroj: [6].

5. Výsledky práce

V tejto kapitole budeme zhodnocovať namerané výsledky každého participanta. Kľúčovými hodnotami budú PNS (Parasympathetic Nervous System) a SNS (Sympathetic Nervous System) index. Aktivita SNS je dominantná v stresových

situáciách. Taktiež narastá, keď sa organizmus pripravuje na situáciu spojenú s vysokou spotrebou energie. Na druhej strane aktivita PNS je spojená s podmienkami kľudu, jej nárast je najvýraznejší pri prechode zo stavu spotreby energie do stavu odpočinku.



Obrázok 7: indexy. Zdroj: Autori.

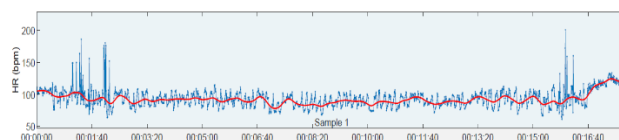
Na obrázku 6 je možné vidieť príklad nameraných hodnôt. Konkrétne ide o indexy PNS (parasympathetic nervous system) a SNS (sympathetic nervous system). Predstavujú jeden z využitých ukazovateľov, ktoré sme v práci využili na porovnanie jednotlivých letov a participantov.

Pre prehľadnejšie zobrazenie sme u každého participanta vytvorili graf, ktorý priebeh týchto indexov vykresľuje v rámci jednotlivých letov konkrétneho participanta.



Obrázok 8: grafické znázornenie SNS a PNS. Zdroj: Autori

Ďalšou významnou položkou boli priebehy HR (heart rate), ktoré taktiež predstavovali výsledky zreteľne a prehľadne, pričom umožnili jednoduché porovnanie letov a pilotov.



Obrázok 9: priebeh HR. Zdroj: Autori.

Tieto priebehy boli u každého pilota veľmi špecifické a dá sa povedať, že nám poskytli najviac relevantných informácií nie len pre porovnanie, ale aj na hlbšiu analýzu jednotlivých pilotov. Ukázali nám napríklad najstresovejšie fázy letu konkrétneho

pilota, ako aj jeho minimálnu a maximálnu hodnotu tepu, trend priebehu a ďalšie.

U menej skúsených pilotov sme využili ešte jeden údaj, a to trajektóriu letu. Tá nebola oproti skúseným pilotom ideálna a žiadala si vlastnú analýzu.



Obrázok 10: letená trasa LHBP. Zdroj: Autori.

Na jednej strane obaja neskúsení piloti leteli podobne nesprávnym spôsobom. Napríklad u letu na LHBP, znázorneného na obrázku 9, si môžeme povšimnúť podobnú trajektóriu, ktorá pri bližšom pohľade ukazuje chyby jednotlivých pilotov. Napríklad po prvej zatáčke po vzlete jeden z pilotov neskoro zaregistroval vyžadovanú zmenu kurzu a nepodarilo sa mu efektívne a včas túto chybu napraviť.

6. Záver

Srdce, jeho funkcie a súvisiace hodnoty prezrádzajú užitočné informácie nie len o ľudskom zdraví ale aj napríklad strese a pracovnej záťaži. Je široko známe, že pri fyzickej námahe sa zrýchľuje tep srdca. Táto veličina spolu s ďalšími ako SNS index, PNS index, RR interval, atď. reagujú nie len na fyzickú záťaž ale aj mentálnu. Tento fakt nám umožňuje ich efektívne využiť pri skúmaní pracovnej záťaže pilotov, ktorí sú najmä v prípade civilného letectva zaťažovaní skôr psychicky.

V dnešnej dobe je najcitlivejším článkom letu ako VFR, tak aj IFR ľudský faktor. Pilot musí spracovať veľké množstvo informácií vo veľmi krátkom čase a zhodnotiť optimálne riešenie danej úlohy, resp. problému. Existujú však fázy letu, ktoré sú stresovejšie ako ostatné. Je to spôsobené väčším množstvom úloh, kratším časom, nebezpečnejšími podmienkami alebo kombináciou. Najvýznamnejšou takouto situáciou je stav núdze, ktorý však v každodennej prevádzke nenastáva bežne. Aj za bezpečného letu sa pilot stretáva s fázami, ktoré vyžadujú viac sústredenia z už spomenutých dôvodov a predstavujú teda viac stresu a vyššiu pracovnú záťaž.

Záťaž však nie je priamo úmerná s výkonom, ktorý zadáva aký bude výsledok riešenia úlohy. Vzťah záťaže a výkonu môžeme zjednodušene rozdeliť do troch kategórií. Prvá predstavuje jednoduchú úlohu, ktorú osoba podceňuje alebo je pri nej rozptýlená a teda dosahuje veľmi nízky výkon. Profesionálny pilot by nemal spadať počas letu do tejto kategórie nakoľko by to mohlo ohroziť bezpečnosť letu. Takýto jav sme v našich meraniach však nezachytili. U skúsenejších participantov sme pozorovali skôr náznaky druhej kategórie, pri ktorej dosahujú takmer optimálny alebo až optimálny výkon pri minimálnom

úsilí. Napriek neustálemu opakovaniu tých istých úloh dokážu týmto úlohám venovať plnú pozornosť a dosahovať pravidelné výsledky. Tretia kategória popisuje v našom prípade neskúsených participantov. Pre nich bola úloha príliš náročná a teda ani pri maximálnom úsilí nedokázali podať zodpovedajúci výkon.

Všetci účastníci si v rámci svojich meraní udržiavali nejakú špecifickú vlastnosť. Medzi tieto patrí napríklad podobné rozmedzie hodnôt alebo rovnaký rytmus poklesov a rastov meraných hodnôt. Je to prejav ich individuálnych charakteristík, nálad a ďalších faktorov, ktoré merané hodnoty taktiež ovplyvňujú a počas celej doby merania ostali nemenné. Tieto faktory by mali byť v reálnej prevádzke potlačené v prípade, že môžu mať negatívny dopad na výkon a teda bezpečnosť letu.

Hlavným cieľom práce bolo porovnať pracovnú záťaž pri letisku s ktorým pilot má skúsenosti a letisku, na ktoré pilot letí prvýkrát. Znáмым letiskom bolo LZZI, zatiaľ čo neznáмым bolo LHBP. Pri analýze a porovnaní jednotlivých výsledkov sme pozorovali rôzne javy. Predpoklad bol, že pracovná záťaž bude u neskúsených pilotov vyššia na LHBP, zatiaľ čo skúsení piloti prejavia približne rovnakú záťaž. Táto domnienka však bola vyvrátená, kedy prvý neskúsený participant, pilot 1, dosahoval podobné až nižšie hodnoty pri tomto letisku. V druhej kategórii, pilotov skúsených, sa prejavil rovnaký, prípadne až radikálnejší efekt. Dospeli sme k názoru, že veľkosť vzorky je nepostačujúca na vyvodenie adekvátnych záverov. Plánovaná vzorka predstavovala 10 pilotov, približne rozdelených na dve polovice podľa skúseností. Tento počet sa nám nepodarilo dosiahnuť najmä z dôvodu pandemickej situácie v čase meraní.

Naše odporúčanie pre budúci výskum je naplniť vyšší počet participantov a taktiež zväziť možnosť merania za reálneho letu. Predpokladá sa, že pri takomto lete pilot pociťuje väčší stres a prejavia sa u neho reálnejšie hodnoty, z ktorých je možné vyvodiť relevantnejšie a istejšie závery.

Z našich skúseností sme však stanovili, že zariadenie CorSense alebo iné podobné zariadenia predstavujú vyhovujúci spôsob merania, ktorý nezasahuje do riadenia a pozornosti pilota. Taktiež sme zhodnotili, že väčší, ťažší a technicky vybavenejší letún poskytne cennejšie informácie, s ktorými sa jednoduchšie pracuje.

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] DICK DE WAARD (1996). The Measurment of Drivers' Mental Workload
- [2] EHRV. CorSense [online]. (citované 19.05.2021) <https://elitehrv.com/corsense>
- [3] Instrument landing system [online]. (citované 09.04.2021) https://sk.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system

- [4] JŮN F. Učebnica na lety podľa prístrojov. 1. vyd. Bratislava : DOLIS, 2015. ISBN 978-80-8181-049-7.
- [5] OXFORD AVIATION ACADEMY. Human Performace & Limitations. Jeppesen GmbH, Frankfurt, Germany, 2001. ISBN 0-88487-285-8
- [6] ŠKULTÉTY F. Simulátor leteckej dopravy [online]. (citované 10.05.2021) <http://uvp.uniza.sk/wp->
- [7] Workload (OGHFA BN). Skybrary. [Online]. (citované 01.04.2021) [https://www.skybrary.aero/index.php/Workload_\(OGHFA_BN\)](https://www.skybrary.aero/index.php/Workload_(OGHFA_BN))
- [8] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [9] 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

OPTIONS FOR USE OF UNMANNED AERIAL SYSTEMS IN FIRE AND RESCUE SERVICES

MOŽNOSTI VYUŽITIA BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV V HASIČSKÝCH A ZÁCHRANNÝCH ZBOROCH

Matúš Poljak
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
poljak8@stud.uniza.sk

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

Abstract

This paper deals with the issue of the possibility of using unmanned aerial vehicles in fire and rescue services in several common problematic situations in which these rescue units operate. In the introductory chapter, the work defines factual terms and definitions related to the categorization of unmanned aerial vehicles in connection with the active legislation of the Slovak Republic and chronologically describes their historical development. Subsequently, it analyzes the current state of the issue in the Slovak Republic, and then compares it with the state of use of unmanned aerial vehicles in rescue services of the same purpose abroad. The main task of this work is to design and evaluate a possible solution to this issue. Other goals of this work include the creation of a theoretical base, which can be used for the practical application of the proposed solutions for the use of unmanned aerial vehicles of fire and rescue services

Keywords

UAS, unmanned aerial systems, emergency service

1. Úvod

Obsahom tejto práce je rozbor súčasne používaných metód aplikácie bezpilotných prostriedkov v prostredí zásahu hasičských a záchranných zborov na území Slovenskej republiky, ale aj v zahraničí. V práci analyzujeme existujúce koncepty možností aplikácie a vytvárame nové možnosti riešenia tejto problematiky, za účelom zvýšenia bezpečnosti a efektivity týchto zborov pri záchrane života alebo majetku. Rozborom možného použitia navrhovaných konceptov chceme dosiahnuť vytvorenie teoretického základu pre praktickú aplikáciu navrhovaných riešení v reálnych situáciách zásahov.

2. Súčasný stav problematiky

Použitie UAS v núdzových situáciách je stále nová metóda, ktorá má v súčasnosti nie na plno využitý potenciál na zvýšenie bezpečnosti príslušníkov záchranných zborov a ohrozených osôb, efektivity zborov a taktiež aj zmierniť vzniknuté škody. Jeden z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich výsledok zásahu hasičských a záchranných zborov je získaná informácia o aktuálnej situácii na mieste zásahu. Aj malé chyby pri zisťovaní informácii môžu znamenať rozdiel medzi životom a smrťou všetkých zúčastnených, či už ľudí v núdzi, alebo zasahujúcich jednotiek. Čas je limitujúci faktor od ktorého sa zároveň odzrkadľuje pravdivosť hodnota podávanej informácie. Smer vývoja používanej technológie a postupov má v dnešnej dobe trend zameriavať sa nie teda len na ochranu osôb v núdzi, ale berie sa stále väčší ohľad na bezpečnosť zasahujúceho personálu.

Zásah jednotiek hasičských a záchranných zborov je sprevádzaný, vo väčšine prípadov, viacerými druhmi špecializovaných nástrojov a ťažkou technikou ktorej účinnosť a rýchlosť, ktorou sa dokáže dostaviť na miesto určenia, je závislá od členitosti a počtu možných prekážok v teréne. Problémom je aj samotná hmotnosť nástrojov, ktorými sú zasahujúci príslušníci vybavení. UAS predstavuje lacnejšiu, rýchlejšiu, jednoduchšiu možnosť ako nahradiť neúčinné a staré metódy zásahu i odľahčenie hmotnostného zaťaženia pozemného personálu. Použitím daného systému ako nosič pre iné špecializované prístroje určené pre špecifikované úlohy alebo ako systém na prenos dôležitých materiálov do ťažko prístupných oblastí.

2.1. Súčasný stav problematiky na Slovensku

Metódy použitia tejto technológie a zároveň samotná technológia nevyužíva na plno celý svoj potenciál. Slovenské Hasičské a Záchranné zbory disponujú len veľmi obmedzeným množstvom UAS civilného modelu DJI Mavic 2 Zoom, ktorý nemá žiadne špecializované vybavenie určené pre záchranné jednotky. V súčasnosti sa v inventári HaZZ nachádzajú 3 takéto UAS, ktoré sú pridelené k modulom pozemného hasenia požiarov v prírodnom prostredí Západ, Stred a Východ. [1]

HaZZ využíva tieto bezpilotné prostriedky stále iba vo výnimočných situáciách a ich aplikácia je v súčasnosti skôr výnimkou ako pravidlom. Momentálne sa využívajú na rôzne monitorovacie úlohy ako monitorovanie toku riek, v prípade už spomínaných lesných požiarov. Hasičské a záchranné zbory používajú tieto UAS na efektívnejšie a rýchlejšie zistenie smeru šírenia ohňa, čím sa predchádza materiálnym škodám a

úmrtiam. Kompaktnosť tohto UAS umožňuje pozemným jednotkám monitorovať a preskúmať priestory z výšky za účelom pátrania po nezvestných osobách, analýzy náročnosti terénu pre ťažkú techniku alebo počas živelných pohrôm.



Obrázok 1: Demonštrácia letu UAS. Zdroj: Autori.

2.1.1. Monitorovanie lesného požiaru

HaZZ už niekoľko krát aplikovali UAS v situáciách, kedy monitorovanie stavu lesného požiaru alebo toku danej rieky pozemnými jednotkami bez pomoci vrtuľníkov, bolo komplikované z dôvodu ťažko dostupného terénu alebo nadmerne zvýšenej hladiny vody a rýchlosti toku rieky. Tieto faktory obmedzujú rýchlosť, ktorou môžu jednotky HaZZ účinne zasiahnuť do situácie.



Obrázok 2: Fotografia požiaru v Nízkych Tatrách. Zdroj: https://www.minv.sk/swift_data/source/hasici_a_zachranari/krizanov_a_foto/rok_2019/december_2019/hasicky_dron_v_akcii/2/01%20-%20poziar%20Velky%20Gapel.png?v=2

Lesný požiar v mimoriadne ťažko dostupnom teréne na kopci Veľký Gápel v Nízkych Tatrách zasiahol v júli 2019 plochu 5 hektárov. V tomto prípade HaZZ použili hasičský UAS DJI Mavic 2 Zoom z Modulu pozemného hasenia požiarov v prírodnom prostredí skupina Stred na zisťovanie smeru šírenia, určovanie polohy a rozsahu vzniknutého požiaru, čo umožnilo zasahujúcim jednotkám rýchlejšie rozhodovanie a efektívnejšie rozmiestnenie ľudskej sily i dostupných prostriedkov. Taktiež pomocou tohto UAS bolo možné vyhľadať vhodné trasy pre presun potrebnej ťažkej techniky. Použitie UAS počas tohto zásahu komplikoval silný vietor a zadymenie, v dôsledku čoho bolo potrebné niekoľkokrát zmeniť miesto vzletu UAS. Tento

zásah trval 4 dni, počas ktorých toto UAS nalietalo približne 3 letové hodiny a dokopy preletelo 27 kilometrov

2.1.2. Vyhľadávanie nezvestných osôb

Terén a hustota zalesnenia alebo zastavania danej oblasti značne ovplyvňuje schopnosť pozemných pátracích elementov dostatočne rýchlo a bezpečne vykonávať svoju zadanú úlohu. Použitím UAS je možné vytvoriť rýchlo, efektívne a bezpečne reálny obraz oblasti pátrania. [2]

Na Slovensku už HaZZ aplikovalo UAS spomínanou metódou, keď bolo vyhlásené pátranie po troch stratených osobách v oblasti Revúca. Za použitia UAS totiž objavili vozidlo ponorené v rieke Muráň, ktoré patrilo nezvestným osobám. Taktiež v tejto situácii použitý bezpilotný prostriedok dokázal svoju dôležitosť, hladina rieky a jej prúd totiž boli na toľko zvýšené, že prístup zasahujúcich jednotiek bol značne sťažený a tak značná časť relevantných informácií bola získaná operátorom UAS, ktorý danú situáciu monitoroval.

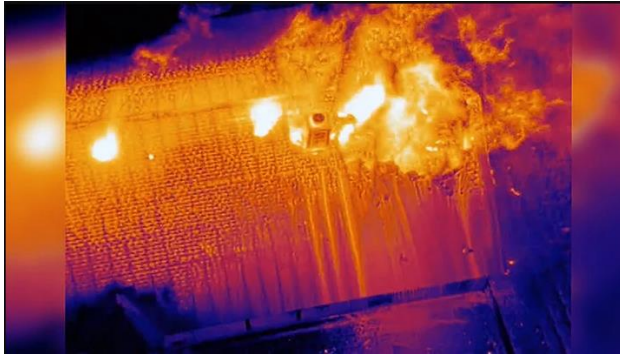
2.2. Súčasný stav problematiky v zahraničí

Aplikácia UAS záchrannými autoritami v zahraničí je pomerne zabehnutá a oveľa častejšie aplikovaná v praxi ako na Slovensku. Z veľkej časti je to zdôvodnené tým, že v ich inventári disponujú niekoľkonásobne väčším počtom UAS rovnakého typu a určenia ako slovenské HaZZ, ale taktiež používajú značné množstvo špecializovaných bezpilotných prostriedkov s výbavou určené pre záchranné služby.

2.2.1. Infračervené kamery

Ich hlavnou výhodou je schopnosť ignorovať dym vznikajúci počas požiaru a tak umožňuje operátorovi bezpilotného prostriedku jasne vidieť v prostredí, v ktorom ľudské oko nie je schopné vidieť a zároveň so spojením s UAS zasahujúce jednotky majú k dispozícii informáciu o situácii z pohľadu z hora. Operátor dokáže z tohto pohľadu jednoduchšie určiť faktory ovplyvňujúce postup operácie ako miesto hranice plameňa, jeho intenzitu, jeho zdroj a tak efektívnejšie rozložiť prístupný personál do zón mimo priameho nebezpečenstva.

Počas štruktúrného požiaru predstavuje strecha budovy potenciálnu prekážku pre bezpečný a úspešný priebeh zásahu, plameň totiž môže spáliť alebo roztaviť rôzne časti strechy, ktoré majú za úlohu vytvárať a udržiavať jej statickú integritu, strecha s poškodenou integritou má vysokú pravdepodobnosť zrútenia sa a je preto teda značným rizikom pre zdravie všetkých zúčastnených osôb. Bepilotné prostriedky vybavené infračervenými kamerami slúžia na kontrolu a monitorovanie stavu poškodenej strechy.



Obrázok 3: Monitorovanie strechy poškodenou požiarom. Zdroj: <https://www.flir.com/globalassets/oem/delta-ep10-placeholder.jpg>

Jednotky hasičských a záchranných zborov sa často stretávajú so situáciami kde zdrojom nebezpečenstva je jedovatý, horľavý alebo inak nebezpečný materiál. Najväčšie prekážky v situáciách s nebezpečným materiálom je schopnosť určiť, či je daný nebezpečný materiál prítomný v oblasti, jeho množstvo, zdroj a prípadný unik z kontajneru, v ktorom sa nachádza. Ak by v tomto potencionálne jedovatom priestore zasahoval člen záchranného personálu, je potrebné, aby bol tento jednotlivец dostatočne ochránený pred daným nebezpečným materiálom. Proces splnenia všetkých podmienok ochrany má istú dobu trvania a tak kráti čas s ktorým daná zasahujúca jednotka pracuje. Aplikácia bezpilotných prostriedkov je preto prospešná vo viacerých smeroch, keďže sa jedná o stroj bez prítomného personálu na palube, nie je žiadny člen jednotky priamo ohrozený počas prieskumu oblasti s nebezpečným materiálom a tak predstavuje skrátenie času potrebného pre prípravu a zároveň umožňuje dôkladnejšiu analýzu oblasti. [3]

Jeden z prvých úkonov ktoré musia zasahujúce jednotky vykonať je lokalizácia rozširujúceho sa ohňa. Existuje viacero metód ako dosiahnuť požadovaný výsledok, no najpoužívanejší spôsob je zabezpečenie protipožiarnej ochrany okolia v oblasti požiaru. Táto prevencia sa vykonáva striekaním vody alebo iného hasiaceho materiálu tak, aby v danom prevenčnom okruhu neexistovali žiadne miesta, cez ktoré by sa mohol daný požiar rozšíriť do prilehajúcich oblastí. Na správny priebeh tejto činnosti je potrebné zabezpečiť celistvosť takéhoto okruhu. Ak je požiar aktívny v značne širokej oblasti, udržovanie celistvosti prevenčného okruhu je veľmi komplexná a komplikovaná úloha na ktorú je potrebné veľké množstvo ľudskej sily. UAS vybavené infračervenými kamerami sú schopné vizuálne zachytiť body v spomínanom okruhu ktoré predstavujú potencionálne nebezpečenstvo v adekvátnom predstihu a tak predísť rozšíreniu ohňa správnym a presným vyslaním dostupného personálu na potrebné miesto.

Po úspešnom uhasení požiaru na mieste sa stále nachádzajú miesta s vysokou teplotou, ktoré môžu znova rozpútať ničivý požiar. Tento faktor zohráva úlohu v procesoch ktoré sa odohrávajú po samotnom hasení, najmä po zahasení rozsiahlych lesných požiarov, takéto miesta sa taktiež môžu nachádzať aj v štrukturálnych požiaroch a to napríklad na miestach medzi poschodiami alebo podstrešným priestorom [3]

2.2.2. Vyhľadávanie osôb

Lavíny sa vyskytujú na ťažko dostupných miestach, kam ťažká technika nie je schopná doraziť dostatočne rýchlo a bezpečne. Záchrana človeka zasypaného lavínou je jeden z najviac časovo stiesnených úkonov. Preto rýchlosť záchrany je kritickým faktorom Skúsenosti hasičských a záchranných zborov viackrát dokázali, že aplikácia UAS v núdzových situáciách niekoľkonásobne skracuje čas na vykonanie zásahu.

Operátor pomocou UAS dokáže pokryť značne širšiu oblasť. Ak operátor objaví miesto a má primerané podozrenie že na tomto mieste sa nachádza zasypaná osoba, podáva túto informáciu pozemnému personálu keďže operátor UAV nie je samostatne schopný vykopania zasypanej osoby.

2.2.3. Mapovanie a prieskum

Najväčší rozdiel môžeme vidieť v modeloch použitých UAS. Zatiaľ čo Hasičský a záchranný zbor Slovenskej republiky používa komerčné verzie UAS určené na civilné použitie ako profesionálne fotografovanie, americké záchranné jednotky počas svojich akcií, najmä keď sa jedná o zásah pokrývajúci široké oblasti, sú podporované vojenskými verziami UAS

Po ukončení zásahu je nutné zaznamenať, definovať postihnutú oblasť a vzniknuté škody. Aj keď počas vykonávania tejto úlohy jednotky nepracujú v časovej tiesni, stále existuje snaha o urýchlenie výkonu celého procesu. Možnosť pohľadu zhora pomocou UAS predstavuje logisticky jednoduchšie a laňej riešenie daného problém ako použitie dráhy podporných vrtuľníkov a tak urýchliť celý proces zbierania informácií v potreby omnoho menšieho počtu pozemného personálu.

3. **Analýza možných aplikácií**

3.1. **Bezpečnosť vzdušného priestoru**

So zvyšujúcou sa intenzitou aplikácie UAS vo viacerých hasičských a záchranných zboroch i ostatných aspektoch civilného alebo núdzového charakteru vzniká nutnosť organizovaného riadenia letovej prevádzky v oblastiach zásahu. Neorganizované riadenie prevádzky UAS ale aj iných podporných leteckých jednotiek predstavuje značné riziko a zníženie ich efektivity. Väčšina UAS a podporných jednotiek ale operujú v neriadených vzdušných priestoroch, kde pravidlá, podľa ktorých sa musia jednotliví operátori bezpilotných prostriedkov a piloti, sú adekvátne pre prevádzku malého množstva účastníkov letovej prevádzky a tak neobmedzujú civilnú prevádzku v iných stupňoch riadených priestorov. Organizovanie zasahujúcich leteckých jednotiek je možné dosiahnuť vytvorením dedikovanej stanice riadenia letovej prevádzky v oblasti zásahu ktorej úlohou je riadenie účastníkov letovej prevádzky v tejto oblasti. Vybavením dedikovanej riadiacej stanice mobilným kompaktným primárnym prehľadovým radarom umožňuje riadiacemu leteckej prevádzky varovanie alebo prípadné odklonenie neoboznámenej, neriadenej prevádzky do priestoru zásahu.

3.2. **Lokalizácia lesných požiarov**

Existuje ďalšia metóda v ktorej by UAS mohli nadobudnúť už viacej aktívnu úlohu. Táto metóda na miesto zlepšovania protipožiarnych charakteristík objektov okolo perimetru, je

založená na systematickom odstraňovaní potencionálne horľavého materiálu. Modifikované UAS ktoré by bolo schopné zakladať takéto proti požiare by bolo značným benefitom v rýchlosti reakcie na rôzne zmeny v taktike zásahu. Na efektívnu aplikáciu je potrebná konštrukcia UAS, ktorá je schopná bezpečne a presne založiť požadovaný proti požiar. Jedna z možností ako by mohlo takéto UAS založiť kontrolovaný požiar je systematickým vyhodnením vysoko horľavého nákladu, ktorý je schopný horenia s veľmi vysokou teplotou aj v nízkych teplotách ale je zároveň dostatočne kontrolovateľný na toľko, aby nepredstavoval ďalšie ohrozenie pre životy alebo poškodenie majetku. Taktiež je potrebné aby táto látka bola kompaktná a dostatočne ľahká aby 1 alebo viacero jednotlivých UAV bolo schopných vytvoriť požiar požadovaných rozmerov a v čo najväčšej možnej vzdialenosti. Keďže sa jedná o bezpilotný prostriedok s nebezpečným nákladom, je nutné aby bola neustále známa poloha UAV v priestore, jeho poškodenie totiž predstavuje riziko predčasného zapálenia a tak vzniku požiaru na inom mieste ako bolo určené.



Obrázok 4: Demonštrácia hasenia použitím UAS. Zdroj: https://technabob.com/blog/wp-content/uploads/2020/04/firefighting_drones_1.jpg

3.3. Hasenie výškových budov

Požiar výškových budov je jeden z fyzicky najnáročnejších úkonov s ktorými sa jednotky hasičských a záchranných jednotiek môžu stretnúť. Ak sa požiar rozšíril aj do vyšších poschodí, zasahujúce jednotky sú nútené veľmi rýchlo zdolať niekoľko poschodí s enormným množstvom vybavenia s hmotnosťou presahujúcou 40 kilogramov v priestoroch vyplneného plynom a s takmer nulovou viditeľnosťou s obmedzeným množstvom kyslíku nie len pre seba, ale aj pre zachraňovanú osobu.

Použitím UAS ako nástroj na transport potrebného materiálu a nástrojov by zmenšil hmotnostné zaťaženie aktívneho personálu v danej budove. Jedným funkčným ale konštrukčne komplikovaným riešením je možné nadobudnúť uloženie potrebného materiálu alebo nástrojov do špecializovaného UAV s dostatočne veľkým úložným priestorom. V tomto prípade nastáva problém v samotnej hmotnosti telies ktoré je potrebné zdvihnúť pomocou UAV na vysoko položené poschodia.

Doteraz navrhované riešenia problematiky použitia UAS v prípadoch požiarov výškových budov v tejto práci určuje

zamýšľaným možnostiam aplikácie UAS iba podporné úlohy na zrýchlenie pohybov a úkonov zasahujúceho personálu. Technologický vývoj ale umožňuje, zatiaľ v teórii, využitie UAS aj vo viac aktívnych úlohách. Ako bolo spomenuté špecializované UAS by bolo schopné jednoduchšieho a rýchlejšieho presunu bez ovplyvnenia faktorov ako fyzická únava, zásoby kyslíka alebo nulová viditeľnosť.

Vytvorením modelu UAS schopného samostatného hasenia predstavuje skok v pred v celom procese hasenia požiaru vo výškových budovách ale aj záchrane uväznených osôb a to forme špecializovaného UAV ktoré je schopné stúpania vo vysokých rýchlostiach a následného vypustenia požadovaného objemu hasiacej látky na požadované miesto.

3.4. Detekcia jedovatých plynov a rádioaktívneho žiarenia

Požiar v priemyselných komplexoch predstavuje vysoké riziko rozšírenia jedovatých látok vo forme plynov ktoré buď vznikli spálením rôznych látok v oblasti alebo únikom zo skladovacích nádob. Môže nastať situácia, kde takýto požiar vznikne v blízkosti obytných oblastí. UAS vybavené špecializovanými zariadeniami vo forme senzorov určené na zistenie prítomnosti takýchto plynov v ovzduší predstavuje rýchly a bezpečný spôsob zbierania informácií v priestoroch nedostupných a nebezpečných pre pozemný personál. Takéto zariadenia fungujú na princípe vysielania infračerveného žiarenia do prostredia, prítomnosť jedovateho plynu je zistená podľa množstva absorbovaného žiarenia. Pomocou UAS umožňuje objavenie prítomnosti plynu v ovzduší v dostatočnom čase a z bezpečnej vzdialenosti bez ohrozenia zasahujúceho personálu, ktorý po obdržaní informácie o situácii vie lepšie, rýchlejšie a účinnejšie reagovať v núdzovej situácii. Príkladom použitia môžeme stanoviť požiar v priemyselnej oblasti v blízkosti miest a obcí. Ak sa naozaj jedná o situáciu kde sa vo vzduchu nachádza jedovatý plyn a ohrozuje spomenuté obyvateľstvo, aplikácia takto špecializovaného UAS umožňuje podanie informácií a inštrukcií, alebo prípadnú evakuáciu obyvateľstva v adekvátnom čase.

Inštaláciu senzorov rádioaktívneho žiarenia na modely UAV by bolo možné rýchle a bezpečné meranie a mapovanie kontaminovaných priestorov. Parametre meracích senzorov ako, ich hmotnosť, spotreba, množstvo a výkon, ovplyvňujú charakteristiky zamýšľaného UAS. Sensory musia byť dostatočne ľahké, úsporné a výkonné na to aby dané UAV určené ako nosič týchto zariadení malo dostatočne dlhú maximálnu dobu letu a veľkosť na to aby sa mohlo dostať do stiesnených a ťažko dostupných priestorov. Operátor je použitím takto špecializovaného UAS schopný mapovania a merania z bezpečnej vzdialenosti a tak definovať oblasti kde je možné poslať pozemný personál vykonávať úlohy bez zvýšeného ohrozenia zdravia.

Automatizovaním tejto metódy aplikácie by bolo možné pomocou dostupného GNSS určiť oblasť ktorú má autonómne UAS periodicky prelietavať a zbierať informácie o stupni zamorenia rádioaktívnym materiálom v určitej oblasti. Takáto aplikácia by bola prospešná pre určenie bezpečnej vzdialenosti od miesta kontaminácie a zároveň slúži ako nástroj na zistenie zmeny situácie rozšírenia kontaminovanej oblasti, alebo na detekciu nových či neobjavených zdrojov úniku nebezpečného rádioaktívneho žiarenia.

Vytvorením špecializovaného UAS za použitia rôznych metód ochrany elektroniky určené na prácu v zamorených oblastiach je možné dosiahnuť čo najdlhšiu možnú dobu aktívnej činnosti UAS v danej zamorenej oblasti a zároveň tak zvýšiť účinnosť taktó zamýšľaného použitia UAS.

3.5. Preprava materiálu a zranených osôb

Prenos ťažko zranenej osoby predstavuje problém s ktorým sa hasičské a záchranné zbory často stretávajú. Táto situácia je komplikovanejšia, ak sa daná osoba nachádza v ťažko dostupnom teréne, ako napríklad v kopcoch, prístup do oblasti je pre pozemné jednotky alebo ťažkú techniku komplexná alebo aj nemožná. Návrh takého modelu UAS ktorý by bol dostatočne kompaktný na prenos pomocou podpornej techniky a zároveň disponuje charakteristikami, ktoré by umožnili prepravu potrebného materiálu na záchranu zranenej osoby, ktorý predstavuje priveľkú záťaž pre menšie tímy ktoré sa samostatne dokážu dostaviť na nutné miesto. V súčasnosti existujú UAS ktoré slúžia na dopravu zdravotníckych potrieb. Tieto UAS ale nie sú aktívne v situáciách v extrémnych podmienkach a časovej tiesne.

Prenos zranenej osoby z ťažko dostupného miesta je rizikový úkon pre zranenú osobu ale aj záchranný personál. Ufahčenie takéhto úkonu je možné dosiahnuť použitím UAS na prenos danej zranenej osoby na dostatočne bezpečné a dostupné miesto kde tejto osobe môže byť poskytnutá lekárska starostlivosť. Najväčšiu prekážku takejto možnosti predstavuje schopnosť modelu UAV bezpečne vzlietnuť a pracovať s hmotnosťou dospelého človeka. To znamená že, pohonné jednotky takýchto UAS musia byť o mnoho výkonnejšie ako tie ktoré pracujú s nižšími hmotnosťami. Zvýšenie výkonu inštaláciou výkonnejších pohonných jednotiek alebo použitím väčšieho množstva pohonných jednotiek zvyšuje ale aj spotrebu elektrickej energie a značne obmedzuje maximálny čas letu. Toto obmedzenie je možné čiastočne znížiť použitím iba menšej zložky dostupného výkonu v čase keď UAS neprenáša žiadne osoby

3.6. Vodná záchrana

V súčasnosti existujú koncepty modelov UAS a metód ich použitia vo vývoji v rámci záchranu osôb v blízkosti pobreží. Poľská firma Pelixar vytvorila model UAS ktorý je schopný vzletu a práce s nákladom o hmotnosti až 120 kilogramov, určený na monitorovanie vodných zariadení, pobreží, riek alebo iných vodných útvarov. UAS je vybavené infračervenými kamerami schopné identifikovania stroskotaných alebo topiacich sa osôb a následne doručiť záchranné zariadenia ako záchranné kolesá, podkovy alebo vesty a prostredníctvom upevneného lana na týchto záchranných zariadeniach dokáže UAS premiestniť danú osobu na bezpečnejšie miesto kde jej možné je poskytnúť potrebnú lekársku starostlivosť. [4]

Modifikácia takéhto systému na použitie vo väčších vzdialenostiach by teoreticky mohlo byť prospešné vo forme zhadzovania samo nafukovacích záchranných člnov s kapacitou určenou pre viacero osôb. Taktó upravený model UAS ale by pravdepodobne nebol samostatne schopný premiestnenia spomínaného člnu so zachránenými osobami do bezpečnej vzdialenosti, ale umožňuje ostatným zasahujúcim jednotkám jednoduché a rýchle vyzdvihnutie tohto člnu a teda jeho následné premiestnenie na bezpečné miesto. [4]

4. Zhodnotenie a záver

Hlavnou náplňou tejto práce bolo nahrvnutie a zhodnotenie možností riešení problematiky možnosti použitia bezpilotných prostriedkov v hasičských a záchranných zboroch za účelom zvýšenie efektivity, bezpečnosti verzatility personálu tejto pohotovostnej služby. Analýzou momentálneho stavu problematiky a všeobecných predpokladov budúceho vývoja bolo možné vytvorenie viacerých konkrétnych možnosti riešení problematiky v uzuálnych, problematických, núdzových situáciách zásahov hasičských a záchranných zborov.

Úvodná etapa tejto práce sa zaoberá dôležitou a relevantnou históriou vývoja technológie bezpilotných prostriedkov od primitívnych začiatkov až po sofistikovanejšiu súčasnosť, a aj ich definíciou a rozdelením podľa relevantných faktorov. Dôležitou časťou tejto bakalárskej práce je tiež vymedzenie možností ich prevádzky, v rámci záchranných zložiek integrovaného záchranného systému, podľa momentálne aktívnych predpisov Dopravného úradu.

Na základe analýzy a spracovania súčasného stavu problematiky na Slovensku, ale aj v zahraničí, bolo možné vytvoriť viacero teoretických návrhov možných riešení problematiky, podľa ktorých môžeme konštatovať, že aplikácia bezpilotných prostriedkov vo viacerých aspektoch výkonov hasičských a záchranných zborov je nadmerne prospešná pre efektivitu, bezpečnosť a verzabilitu týchto záchranných zložiek, ale momentálne ich použitie nedosahuje maximálny dosiahnuteľný potenciál. Môžeme teda očakávať že, rýchlosť vývoja bezpilotných prostriedkov, záujem spoločnosti o túto technológiu a ich zvyšujúca sa intenzita použitia bude vyššia a ich prevádzka lacnejšia. Táto bakalárska práca je použiteľná ako teoretický základ pre praktické zavedenie navrhovaných riešení problematiky možnosti použitia bezpilotných prostriedkov v hasičských a záchranných zboroch.

Na dosiahnutie hlavného cieľa tejto záverečnej práce bola taktiež potrebná analýza problematiky organizácie vzdušného priestoru spadajúce do oblasti zásahu hasičských a záchranných zborov a následná rekomendácia návrhu možného riešenie tejto problematiky.

Referencie

- [1] Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky: Hasičský dron akcii: dostupné na internete: <https://www.minv.sk/?tlacove-spravy-3&sprava=hasicky-dron-v-akcii>
- [2] Department Search & Rescue SOP 10.7: dostupné na internete: <http://danieli39.sg-host.com/wp-content/uploads/2017/04/Search-and-Rescue-Operations.pdf>
- [3] Teledyne FLIR: Delta episode 10: dostupné na internete: <https://www.flir.com/suas/delta/delta-episode-10/>
- [4] Pelixar: Pelixar aSAR: dostupné na internete: <https://pelixar.com/2020/02/25/automatic-search-and-rescue-pelixar-asar/?lang=en>

INCREASING THE SAFETY OF OPERATION OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN ADVERSE METEOROLOGICAL CONDITIONS

ZVYŠOVANIE BEZPEČNOSTI PREVÁDZKY BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH PROSTRIEDKOV POČAS NEPRIAZNIVÝCH METEOROLOGICKÝCH PODMIENOK

Vanesa Viktória Psárska
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vanesaviktoriapsarska@gmail.com

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

Abstract

Primary obstacle in using unmanned aerial vehicles are adverse meteorological conditions. To allow more usage options in day-to-day life, it is necessary to increase safety in such conditions. The topic of this paper is analysing possible solutions. First part discusses the current state of art and describes systems currently used. It defined meteorological conditions such as low temperature, wind, humidity and low visibility. It describes their influence on usage of remote controlled aircraft and change in their flight characteristics. Next part is devoted to analysing possible solutions and their applicability. The objective was to find out how to increase safety during adverse meteorological conditions and which technologies are best for achieving this result. Selected technologies have shown great potential and options for increasing safety are plentyfull.

Keywords

unmanned aerial vehicles 1, adverse meteorological conditions 2, increasing safety 3, analyses 4, operation 5

1. Úvod

Odvetvie bezpilotných lietajúcich prostriedkov je pomerne mladé, má však v budúcnosti veľký potenciál. Už v súčasnosti sa bezpilotné lietadlá využívajú v mnohých odvetviach ako napríklad kartografii, mediálnom priemysle, záchranných a policajných operáciách atď. V poslednej dobe sa však bezpilotné systémy tešia aj veľkej obľube medzi širokou verejnosťou a využívajú sa čím ďalej, tým viac v zábavnej sfére. Lietanie je však regulované vzhľadom na meteorologické podmienky, ktoré nepriaznivo vplyvajú na prevádzku UAV. Preto sme si v našej práci vybrali štyri javy, ktoré ovplyvňujú celú leteckú prevádzku. Zameriavame sa na nepriaznivé podmienky ako nízka teplota, vietor, vlhkosť a zlá viditeľnosť. Popisujeme ich vplyv na samotné lietanie a analyzujeme súčasný stav. Po bližšom preštudovaní opisuje návrhy riešení zvyšovania bezpečnosti prevádzky bezpilotných prostriedkov v nepriaznivom počasí. Prácou hodnotíme využiteľnosť nových systémov s cieľom implementácie do širokého spektra modelov. Najväčšou hrozbou pre prevádzku drona sú poryvy vetra, ktoré nie sú možné predvídať a preto sa ťažkou predchádza ich následkom. Je možné minimalizovať jeho následky pomocou naklonenia rotorov, ktorého koncepcia je zatiaľ len v počiatku a je nutné preskúmať vlastnosti naklonených rotorov vzhľadom na celkovú prevádzku. Teoretickými skúsenosťami získanými v simulátore je možné zlepšiť praktické skúsenosti. Chladné počasie a sním spojená námraza ovplyvňuje hlavne akumulátory a prevádzkové vlastnosti. Obmedzením vzniku a odstránením už vytvorenej námrazy tak zabezpečíme požadované letové vlastnosti.

2. Prezentácia práce

2.1. Analýza súčasného stavu

Pri prevádzke bezpilotných prostriedkov je vzhľadom na ich popularizáciu dôležitá regulácia, ktorá má za úlohu zabezpečiť plynulú a bezpečnú prevádzku. V súčasnosti je na území Slovenska v platnosti rozhodnutie č.2/2019, ktoré určuje pravidlá podľa ktorých sa operátori riadia. Nepriaznivé meteorologické podmienky sú najväčšou hrozbou pre všetky kategórie UAV. V práci sa zameriavame na vybrané štyri základné meteorologické javy. Sú to chlad a s ním spojená námraza, vietor, vlhkosť a zlá viditeľnosť.

2.1.1. Poveternostné podmienky

Riaditeľnosť diaľkovo ovládaného lietadla závisí predovšetkým na generovaní dostatočného vztaku. Ten sa vytvára na vrtulkách pomocou ich rotácie. Rotačný pohyb je zabezpečený pomocou rotora. Každý rotor má svoju vlastnú jednotku ESC (elektronická kontrola stability). Tá prijíma šírkovou moduláciou signál, ktorý určuje ako rýchlo sa rotor bude točiť. Vďaka autonómnym rotorom tak môžeme vytvárať rôzny vztak na samostatných rotoroch, čo má za následok ovládanie drona. Pri vetre je však ovládanie UAV problematické, nakoľko vychyluje dron z nastavenej hodnoty. Zvýšiť stabilitu môžeme zvýšením počtu vrtúl.

2.1.2. Chladné počasie

Nízka teplota je hrozba najmä pre pohonnú jednotku, batériu. Výrazne znižuje prevádzkový čas. V batériách taktiež prebiehajú chemické reakcie, najmä pri úplne vybitých alebo nabíjanej batérii, ktoré skrátujú jej životnosť. Preto ak sa s nimi dlhšie nelietajú, je odporúčané skladovať ich pri 50% nabití, pri ktorom sú reakcie najmenšie. Niektoré akumulátory majú funkciu automatického vybíjania. Tá spravidla po 10 dňoch zníži napätie na tzv. "skladovacie". Pri niektorých modeloch sa však táto doba dá skrátiť aj na 1 deň. Preto ak je potrebné lietať aj v takomto počasí, je dobré vzlietať vždy s plne nabitými batériami a počítať s kratším časom letu. Veľa výskumov sa zameriava práve na zvyšovanie výdrže bezpilotných systémov vo vzduchu. Jednou zo sľubných metód je nahradenie klasických batérií iným druhom pohonu, napríklad vodíkovým pohonom. Chlad prináša so sebou aj nebezpečnú nástrahu, námrazu. Tá sa vytvára najmä na povrchových častiach a už pri malých vrstvách zhoršuje letové vlastnosti. Vyváženie stroja je narušené a lietajúci prostriedok sa stáva nestabilným. Námraza takisto poškodzuje aj elektrické súčasti, ktoré sú náchylné na námrazu a následnú vlhkosť.

2.1.3. Vlhkosť

Relatívna vlhkosť, ktorá hovorí o obsahu vodných pár v suchom vzduchu, má hlavnú úlohu v leteckej meteorológii. O zvyšovaní relatívnej vlhkosti vieme predpokladať vznik hmly alebo nízkej oblačnosti. Kritická hodnota je 90%-98%, po ktorej prekročení sa obmedzuje letová prevádzka. So zvyšujúcou vlhkosťou sa zvyšuje aj hustota. To spôsobí lepšiu schopnosť generovať vztlakovú silu. Vo vlhkom prostredí je však lietať nevhodné, nakoľko môže značne poškodiť súčasti lietajúceho prostriedku. S vlhkosťou sa spája aj korózia kovových častí. Pri elektrických dronoch je obzvlášť nebezpečné prevádzkovať UAV v daždi alebo snežení. Možné riešenie predstavuje hydroizolačný náter. Poznáme aj vodeodolné diaľkovo ovládané lietadlá, ktoré sú špeciálne vyrobené pre lietať vo vlhkom prostredí.

Hydroizolačným náterom vieme predĺžiť životnosť elektrických súčastí. Jedná sa o tenký polymérový film, ktorý sa naniesie na PCB dosku (doska plošných spojov). Ochráni to súčiastku pred vlhkosťou, prachom, chemikáliami ale aj teplotným extrémom. V súčasnosti poznáme dve riešenia a to akrylové a silikónové nátery. Silikón má vyššiu teplotnú odolnosť a preto je pre UAV lepším riešením. Pred aplikovaním náteru je potrebné povrchové vyčistenie izopropylalkoholom, ktorý takisto dokáže náter odstrániť. Pri nátere by sme sa mali vyhnúť častiam ako senzory, kamery, tlačidlá a porty, ktoré by po ošetrovaní nemuseli fungovať správne.

Vodeodolné modely umožňujú pristáť na vodnej hladine. Dokonca poskytujú aj určitý druh prevádzky pod vodnou hladinou s následným vzletom. Jedným takýmto modelom je aj Spry+. Vodeodolná membrána účinne zabraňuje vniknutiu vody do vnútornej časti drony a svojou vzduchovou priepustnosťou zabezpečuje správny chod výškomeru. Kamera je v opticky upravenom polykarbónovom obale. Motory sú potiahnuté špeciálnym povrchom, čo umožňuje využívať tento model aj v nepriaznivých prímorských oblastiach.

2.1.4. Zlá viditeľnosť

Nízka viditeľnosť je pre lietať UAV nevyhovujúca a spôsobuje nehody spojené práve so stratou vizuálneho kontaktu pilota a lietajúceho zariadenia. Znížená viditeľnosť môže byť

zapríčinená vznikom hmly, chemickým znečistením atmosféry vo forme smogu, dymom a mnohými inými faktormi. Lietanie v noci je takisto neodporúčané, nakoľko diaľkovo ovládané lietadlá nemajú dostatočné osvetlenie, ktoré by zvýšilo bezpečnosť. Pre model Mavic Pro je dostupný systém, ktorý pozostáva z dvoch kociek s LED (elektroluminiscenčná dióda). Každá z kociek dokáže vyprodukovať svetlo o intenzite 1500 lúmenov. Poskytujú aj rôzne intenzity stroboskopického osvetlenia pre požiadavky kolízneho osvetlenia FAA (Federálny letecký úrad USA). Pri plnej intenzite je schopná kocka pracovať približne 20 minút, pri polovičnej intenzite sa čas predĺži až na dve hodiny. Kocky sa uchytávajú po bokoch UAV a vlastnou vstavanou batériou sú sebestačné. Vodeodolnosť im umožňuje pracovať aj vo vlhkom prostredí.



Obrázok 1 : Uchytenie osvetlenia. Zdroj: [1].

2.2. Nepriaznivé meteorologické podmienky

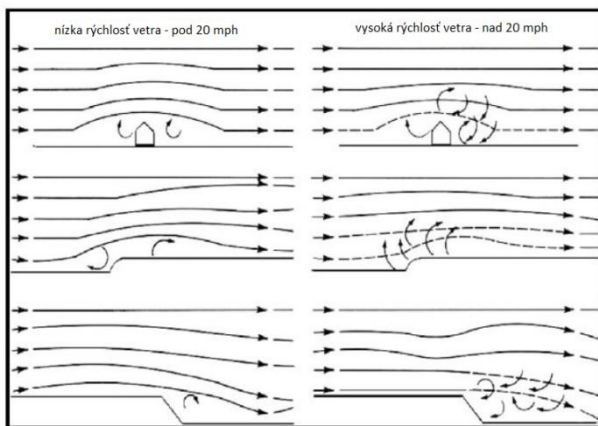
Meteorologické podmienky skúma vedný odbor meteorológia. Na základe pozorovania týchto javov je možné predpovedať počasie. V práci sme sa zamerali na meteorologické prvky, ktoré sa vyskytujú najčastejšie. Tieto prvky sa merajú v meteorologických staniách umiestnených na vhodných miestach. V príručkách výrobcovia limitujú používanie UAV a udávajú tam informácie ako maximálna sila vetra pri ktorom sa odporúča lietať, maximálny uhol náklonu, prevádzková teplota a mnohé iné.

2.2.1. Teplota

Je to termodynamická veličina, ktorá vyjadruje energetický stav molekúl. Energia môže byť do molekuly privádzaná alebo odvádzaná. Pri zvyšovaní energie sa teplota zvyšuje, a naopak. Pre popisovanie teploty sa používajú tri rôzne stupnice a to Kelvinova meraná v Kelvinoch, Celcius s ktorou sa stretávame najčastejšie a stupnica Fahrenheit. Teplota sa s výškou mení a táto zmena sa nazýva vertikálny teplotný gradient. V MSA (medzinárodnej štandardnej atmosfére) sa každých 100m atmosféra ochladí o konštantu 0,65°C. V praxi však táto hodnota nie je konštantná, pretože závisí aj na vlhkosti vzduchu, ročnom období a časti dňa. Suchý vzduch sa ochladzuje rýchlejšie, môže sa ochladiť až o 1°C na 100m, a vlhký naopak pomalšie. Nízka teplota ovplyvňuje výdrž a životnosť batérií. Prináša však so sebou aj námrazu. Tá vzniká prechodom UAV masou vzduchu, ktorá obsahuje kvapky vody a teplota v mieste dotyku povrchu s kvapkami vody je 0°C alebo nižšia.

2.2.2. Vietor

Je to pohybujúci sa vzdušný prúd, ktorý vzniká v dôsledku vyrovnávania tlaku v oblastiach s rôznym atmosférickým tlakom. Čím väčší je tento rozdiel, tým je rýchlosť vetra väčšia. Rýchlosť vetra sa neustále mení. Vieme určiť priemernú rýchlosť za dané časové obdobie alebo nárazovú rýchlosť vetra. Smer vetra môžeme udávať pomocou svetových strán s presnosťou na 22,5° (S,E,N,W a ich kombinácie) alebo pomocou azimutu na škále od 0° až po 360°. Nebezpečná je najmä turbulencia. Je to trojzrnmerný nepravidelný náhodný pohyb vo vnútri vzduchovej hmoty. Poznáme turbulenciu termickú, dynamickú a mechanickú. Všetky sú nebezpečné alepre bezpilotné lietadlá najmä mechanická turbulencia, ktorá je výsledkom prúdenia vetra okolo nepravidelného terénu alebo umelo vytvorených prekážok. Čím je sila vetra väčšia, tým bude turbulencia silnejšia.



Obrázok 2: Intenzita mechanickej turbulencie. Zdroj: [2].

2.2.3. Vlhkosť vzduchu

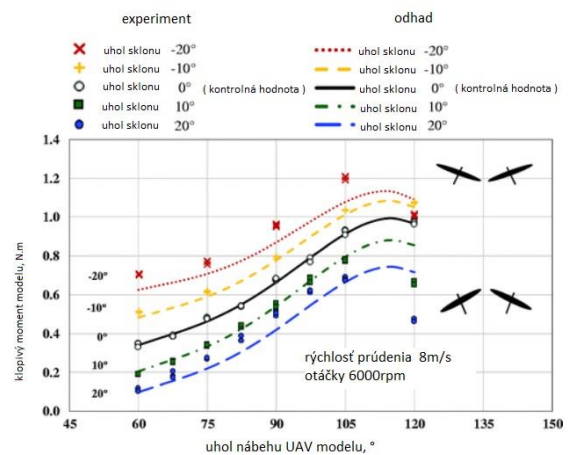
Voda v atmosfére sa nachádza v troch skupenstvách. V plynnom, kvapalnom a pevnom. Prechodom skupenstiev dochádza pomocou topenia, tuhnutia, kondenzáciou, vyparovaním, sublimáciou a desublimáciou. Voda v podobe vodnej pary je jeden z najzákladnejších prvkov v atmosfére. Zmiešaním vodnej pary so suchým vzduchom dostaneme vlhký vzduch, ktorého pomer je označovaný ako vlhkosť vzduchu. Udáva teda pomer vodných pár v atmosfére. So zvyšujúcou teplotou sa zvyšuje aj schopnosť pohltiť vlhkosť. Keď je vzduch presýtený, dochádza ku kondenzácii. Môžeme sa stretnúť aj s pojmom absolútna relatívna vlhkosť, ktorá udáva absolútnu hodnotu nasýtenia vzduchu vodnými parami v gramoch na 1m³. Je to teda hmotnosť vodných pár v istom objeme vzduchu. Relatívna vlhkosť udáva pomernú časť vodných pár v jednotke vzduchovej hmoty k maximálnemu množstvu pri rovnakej teplote. Označujeme ju v percentách.

2.3. Analýza riešni návrhov

Niektoré vynálezy sú len pre komerčný trh a zábavné odvetvie, iné zachraňujú ľudské životy a zvyšujú efektivitu práce. Všetky parametre však majú spoločný bod záujmu, „dronifikáciu“. Nedostatočná bezpečnosť, nevedomosť, ignorancia a slabé praktické skúsenosti operátorov spôsobujú nutnosť výrazných opatrení a zmien v tejto oblasti. Vývoj nových, bezpečnejších systémov je preto nevyhnutný.

2.3.1. Naklonenie rotorov

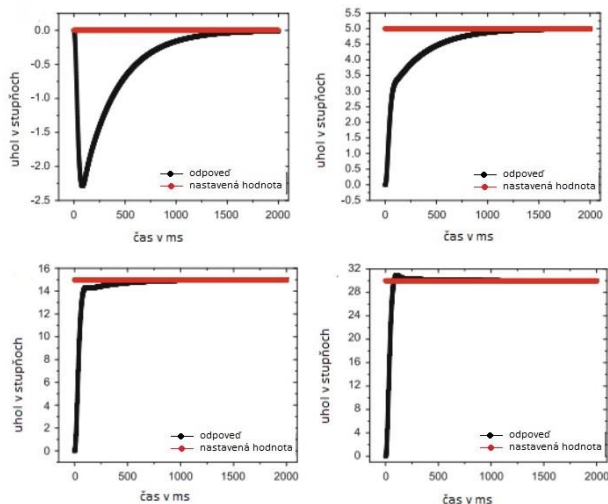
Z hľadiska vyvažovania viac rotorových UAV v rovnomernom prúde hovoríme o metóde, ktoré sa zakladá na znižovaní "head-up" vztlačového momentu pri kvadroptéroch. Dôležitá je najmä stabilita docielená správnym rozložením komponentov na ráme tela. Pri ustálenom prúde vzduchu predný rotor pôsobí na tok vzduchu a stáča ho smerom dole. Preto je pri 90° a väčších uhloch nábehu zadný rotor negatívne ovplyvňovaný. Takisto kvadroptéru ovplyvňuje aj rozdielna relatívna rýchlosť vzduchu k čepeliam, nakoľko sa párovo otáčajú do opačnej strany. Preto bol navrhnutý systém naklonenia rotorov. Skúmalo sa naklonenie rotorov od -20° až po 20°. Testovanie v aerodynamickom tunely potvrdilo správnosť výpočtov a celkové výsledky preukázali ešte vyššiu stabilitu ako sa očakávala. Naklonenie rotora o 20° do vonkajšej strany degraduje moment o 26% čo je 0,18N.m pri uhle nábehu 90°. Pre naklonené motory sú však potrebné ešte ďalšie štúdiá, nakoľko vplyv naklonenia je na mobilitu UAV ešte nejasný.



Obrázok 3: Grafické znázornenie zvýšenia stability pri naklonených rotoroch. Zdroj: [3].

2.3.2. PID regulator

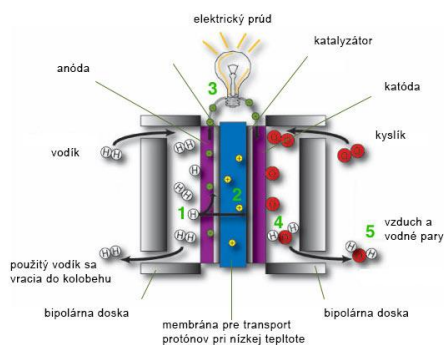
V štúdiu bol testovaný PID (proporcionálne-integračne-derivačný) regulátor, ktorý poskytuje väčšiu stabilitu pomocou regulácie rýchlosti. Hlavnou úlohou PID regulátora je kompenzovanie poruchy a privedenie systému na nastavenú hodnotu v lepšom čase. Pre testovanie použili kvadroptéru v tvare H. Simuláciami skúmali ako reaguje PID regulátor pri zmene uhlu natočenia v osi x a merali časovú závislosť aj zmenu prekročenia a následné dosiahnutie stanovenej hodnoty. Pre riadenie v zlomku sekúnd bol vyvinutý algoritmus. IMU (inerciálna meracia jednotka) pomocou akcelerometru a gyroskopu vyhodnocuje informácie o zrýchlení, orientačnej a uhlovej rýchlosti a iných hodnotách potrebných pre stabilnú polohu. Pri vybočení z nastavenej hodnoty sa dron vráti do prednastavenej polohy. Pre implementovanie sú potrebné rozsiahlejšie experimenty v tomto odvetví. Nízkonákladový systém zvyšuje stabilitu a je schopný odolávať malým vonkajším rušeniam.



Obrázok 4: grafické znázornenie zníženia času potrebného na vrátenie sa kvadroptéry do pôvodného stavu. Zdroj: [4].

2.3.3. Vodíkový pohon

Snaha implementovať tento druh pohonu pre UAV sa začala okolo roku 2013. Systém je založený na štiepení atómu vodíka. Ten je privádzaný na membránu, kde je vplyvom katalyzátora rozštiepený na protón a elektrón. Protón prechádza článkom ku opačnej elektróde a zmiešava sa so vzduchom. To vytvára molekulu vody. V anóde nám po rozštiepení vodíku ostali $2e^-$ (záporné elektróny), ktoré však neprejdú cez membránu ale musia prejsť cez elektrický obvod čo generuje pohon. Tím z Univerzity of Sydney vyvinul pohonnú jednotku, ktorá bola založená na kombinácii palivového článku, superkapacitora a lítiovej batérie. Bezpilotné lietadlo letelo 3 hodiny. Superkapacity dodávali elektrické napätie pri maximálnom režime. Lítiové batérie vyrovnávali spotrebu pri bežnom režime a plnili funkciu rezervy.



Obrázok 5: Vodíkový článok. Zdroj: [5].

2.3.4. Nanometeriálový grafénový povlak

Grafén má vynikajúce vlastnosti ako tuhosť, ľahkosť, pevnosť, odolnosť voči korózii a dobrú vodivosť, čo predstavuje široké využitie v mnohých priemysloch. V UAV priemysle sa skúma jeho uplatnenie pri regulácii teploty na povrchu profilov. Systém je založený na vodivom povlaku, ktorý dokáže generovať teplo pri napájaní a pracuje na základe elektrického odporu. Poskytuje dve riešenia a to prevencia voči námraze, udržiavaním nastavenej teploty na povrchu, a odstraňovanie námrazy pomocou rýchleho nahriatia. Systém sa testoval na pevnom

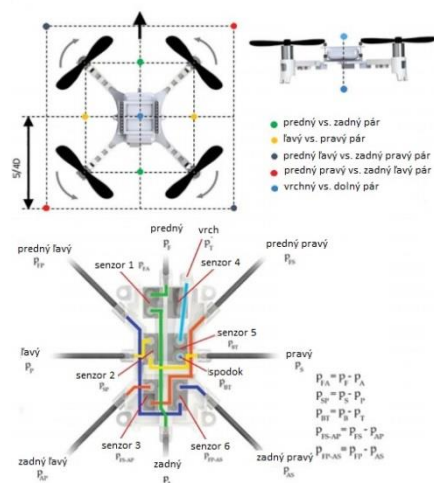
krídle typu Skywalker X-8. Pomocou PID regulátoru, ktorý dostával spätnú väzbu od senzoru vlhkosti a termočlánku. Je naprogramovaný mikroprocesor, ktorý riadi dodávanú energiu. Tým upravuje teplotu v povlaku.

2.3.5. NASA a dvojica vodičov

Jedným z hlavných cieľov pre NASA (národný úrad pre letectvo a vesmír) bol boj s námrazou. Inžinier Leonard Haslim dostal cenu NASA, vynálezca roka, práve za jeden takýto systém. Systém sa skladá z dvojice vodičov, ktoré sú zaliate v pružnom materiáli a sú pevne pripevnené na rám lietadla. Prúd elektriny, ktorá pulzuje cez vodiče, vytvára vo vodičoch protichodné magnetické polia, ktoré odpudivou silou vytvorí oddelenie vodičov od seba. Tie sa oddelia len o malý zlomok, ale vibráciami dokážu rozbiť nános usadeného ľadu.

2.3.6. Detekcia na princípe Johnstonovho orgánu

Mnoho technických vynálezov sa inšpirovalo priamo zo zvieracej ríše. Tím vedcov z Royal Veterinary College v Londýne sa začal zaoberať senzorickým mechanizmom na vyhýbanie sa prekážkam u samcov komárov. Johnstonov orgán umiestnený na anténach je na základe veľkej citlivosti schopný vytvárať obraz prostredia na základe zmeny tlaku. Tím do miniatúrnej kvadroptéry zakomponoval zariadenie pozostávajúce z piatich párov sondových trubíc uložených v opačných častiach kvadroptéry. Zmena tlaku medzi dvojicou sond sa vypočítavala na základe rozdielu. Snímače dokážu spoľahlivo zaznamenať prekážku vo vzdialenosti trikrát väčšej ako priemer rotora. Experiment bol vyhodnotený ako úspešný a na základe dobrých výsledkov sa testovalo zariadenie autonómne.



Obrázok 6 : Umiestnenie sond na tele kvadroptéry. Zdroj: [6].

2.3.7. ADS-B

“Automatic dependent surveillance-broadcast” je jednoducho povedané veľký elektrický megafón, ktorý do okolia posiela informácie hlavne o svojej polohe. Vybavením lietajúcich prostriedkov systémom ADS-B by mohlo prispieť k zvýšenej bezpečnosti. ADS-B systém pozostáva z dvoch komponentov, ADS-B Out ktorý informácie vysiela a ADS-B In, ktorý informácie prijíma. FAA odporúča zákaz vybavenia dronov systémom ADS-B Out z dôvodu obáv, že takéto zahlcovanie vysielacích pásiem

by malo negatívny vplyv a spôsobilo prekážky a komplikácie aj tradičnej leteckej doprave. Možné riešenie by bolo vytvorenie samotného ATC (riadenie letovej prevádzky) systému pre bezpilotné lietajúce prostriedky s vlastnými frekvenciami, obmedzeniami, pravidlami, kontrolnými stanovišťami a oddelením dohľadných orgánov.

2.3.8. Termovízia

Termokamera, alebo infračervená kamera, vytvára obraz pomocou snímania infračerveného žiarenia. Namiesto snímania svetla vo viditeľnom spektre sníma vlnové dĺžky okolo 14 000 nm. Infračervená energia je jednou z častí elektromagnetického spektra. Každé teleso vyžaruje určité množstvo žiarenia, pričom čím väčšia je povrchová teplota, tým väčšie množstvo infračerveného žiarenia vyžaruje. Vybavenie termokamerou by zvýšilo bezpečnosť lietania v nízkej viditeľnosti ako napríklad záchranné drony.

2.3.9. Záchranné systémy

Niektoré situácie nemôžeme predvídať a nezabránilme pádu dronu. Pri páde môžeme poškodiť majetok sebe alebo iným, ublížiť na zdraví a v neposlednom rade prideme o bezpilotné lietadlo v dôsledku zničenia. Existujú však aj záchranné systémy, ktoré eliminujú hrozbu v podobe padajúceho alebo neovládateľného systému.

Dronové padákové systémy sú bezpečné riešenie. Jedným z takých je aj systém VectorSave 10 pre Phantom 4. Maximálne zaťaženie nárazového lana je až 430 kg, čo umožňuje využiť tento systém pri širokej škále bezpilotných prostriedkov. Inštalácia je jednoduchá a pripája sa vlastnými úchytmi v spodnej časti UAV. Špeciálny softvér meria zrýchlenie a naklonenie odpaľovacej trubice od vodorovného gravitačného poľa. Pri detekcii extrémneho uhlu náklonu alebo voľného pádu po dlhšiu dobu vystrelí systém padák. Vstavaná batéria zabezpečí pri úplnom nabití až 5 hodín prevádzky.

Ďalší systém na zvýšenie bezpečnosti je Dronerfts-WaterStrider 2.0.. Systém je vyrobený z ultraľahkej konštrukcie z uhlíkových vlákien a nárazuvzdorných polymérov. Sú mimoriadne odolné a umožňujú drsné pristátia v členitom teréne. Dizajn je prispôsobený pre účely dronov a umožňuje pristátie na snehu, vodných plochách alebo tokoch, piesku, kamenistom teréne, vysokej tráve, nerovnom a náročnom teréne. Hmotnostné a aerodynamické vplyvy boli minimalizované, ale aj napriek tomu skracujú čas lietania o 30%. Inštaluje sa na spodnú stranu UAV a upevní sa remienkami, čím zabezpečí dobrú stabilitu. Eliminuje kontakt zariadenia s vodou pri pristáť na vode a chráni spodnú časť bezpilotného prostriedku. Širokou základňou zabezpečí dosadnutie dronu aj pri 60° uhloch náklonu.



Obrázok 7 : WaterStrider 2.0. Zdroj: [7].

2.3.10. Teoretické a praktické zručnosti pilotov

Nová legislatíva pre bezpilotné lietajúce prostriedky z roku 2021 zvyšuje bezpečnosť cez povinnosť registrácie v "otvorenej" kategórii s hmotnosťou nad 250g. Minimálny vek je 16 rokov. Pilot takisto musí prejsť aj on-line školením a on-line testom, ktoré preveria jeho schopnosti a zručnosti. Registráciou bude UAV pridelený 12 miestny kód. Prínosom je identifikácia a zvýšenie schopností operátorov. Podniky prijímajú novú technológiu v podobe dronov rýchlo. Nízke náklady, eliminácia ľudského faktoru, zvýšenie efektivity a mnohé ďalšie benefity zvyšujú záujem o technológiu. Pre získavanie praktických skúseností navrhlo DJI riešenie v podobe "DJI-Flight Simulator".

DJI- Flight Simulator predstavuje novú éru školenia. Vytvoril softvérový program, ktorý si jednoducho dokážeme stiahnuť do počítača. Je dostupný v troch verziách, z toho jedna je skúšobná, bezplatná. Používateľ má k dispozícii realistický letový zážitok, v ktorom si môže vyskúšať všetky letové situácie a problémy, ktoré môžu nastať počas prevádzky. Ponúka aj školenia zamestnaní ako sú kontroly elektrického vedenia, pátracie a záchranné misie. Používateľ sa na počítač pripojí diaľkovým ovládačom modelu DJI, čím je mu poskytnutý najdôveryhodnejší zážitok. Letový simulátor podporuje väčšinu dronov DJI, vrátane Mavic 2 Enterprise, Phantom 4 Pro, Inspire 2 a Matrice 210 RTK.

2.4. Záver

V oblasti dronov je stále nevyužitý veľký potenciál, ktorý je limitovaný práve mnohými bezpečnostnými opatreniami spájanými najmä s nepriaznivými meteorologickými podmienkami. Poveternostné podmienky, nízka teplota, vlhkosť a zlá viditeľnosť sú primárne prekážky, ktoré znemožňujú maximalizovať využiteľnosť bezpilotných lietadiel. Sú to hrozby pre všetkých účastníkov leteckej premávky, či prevádzkovateľov bezpilotných systémov alebo aj všeobecného letectva. Odvetvie dronov je pomerne mladá technologická vymoženosť. Práve kvôli nedostatku času na získanie potrebných skúseností sa v nestihli mnohé prekážky prekonať. Preto je dôležité zamerať sa na nové systémy, ktoré predstavujú riešenia. Aplikáciou technológií analyzovaných v tomto článku môžeme tento potenciál rozvíjať. Implementáciou systémov by sa docielila bezpečnejšia prevádzka UAV, čo by výrazne zvýšilo dopyt a drony by sa stali súčasťou našich životov.

Pod'akovanie

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] bhphotovideo. (dátum neznámy). Cit. 15. Máj 2021. [online] Dostupné na Internete: https://www.bhphotovideo.com/c/product/1361051-REG/lume_cube_lc_mavic22_lume_cubes_with_2.html/overview
- [2] navyflightmanuals. (dátum neznámy). Cit. 15. Máj 2021. [online] Dostupné na Internete: http://navyflightmanuals.tpub.com/P-303/Mechanical-Turbulence-106.htm?fbclid=IwAR0L2VPvltrePwBGmErI53MA_Hu63G5yls1JbCkxYN2JfIPUv0EVmajQzkM#:~:text=Mechanical%20turbulence%20results%20from%20wind,is%20disturbed%20and%20transformed%20into
- [3] HIKARU, O., a kol. (December 2017). *International journal of micro air vehicles*. [online] Dostupné na Internete: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1756829317745318?fbclid=IwAR3y2prMtzBHzEwPDg4z4sVTqd_mdOYShPvrAcAQf9dMfmKXKxIkIDRqvgU
- [4] ESWARAN, P., a kol. (December 2015). *Researchgate*. [online] Dostupné na Internete: https://www.researchgate.net/publication/300113491_Stabilization_of_UAV_Quadcopter
- [5] <https://www.mladyvedec.eu/index.php/laboratorium/technicke-stavebnice-kosmos/auto-na-vodik>
- [6] NAKATA, T., a kol. (Apríl 2020). *Science* 368. Cit. 15. Máj 2021. [online] Dostupné na Internete: https://www.researchgate.net/publication/341098897_Aerodynamic_imaging_by_mosquitoes_inspires_a_surface_detector_for_autonomous_flying_vehicles
- [7] <https://forum.dji.com/thread-197813-1-1.html>
- [8] 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.

MODIFICATION POSSIBILITIES OF AUTOMOTIVE POWER PLANT FOR AVIATION PURPOSES: FUEL SYSTEM AND TURBOCHARGER SYSTEM

MOŽNOSTI ÚPRAVY AUTOMOBILOVÉHO ZÁŽIHOVÉHO PIESTOVÉHO MOTORA PRE POHON LETÚNOV PALIVOVÁ SÚSTAVA A SYSTÉM PREPLŇOVANIA

Andrej Pukač
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
pukacandrej@gmail.com

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

The objective of this article is to develop and demonstrate modification of automotive engine for aviation purposes. Automotive engine in aircraft has its pros and cons, but it can be good economical alternative to power plants such as Rotax engines which can be expensive, especially in Ultralight category where the rules of certification are different than for CS-LSA or CS-23 category aircraft. In first part I analyse actual state of real engine and describe operational problems, which shall be improved for better operation in aircraft. In second part I demonstrate practical solutions of turbocharger system and fuel system. In these systems I tried to use the most modern technologies which however will be reliable enough for aviation use, where the safety is priority number one.

Keywords

automotive engine, performance, fuel mixture, turbocharging, fuel system, electronic engine control unit, multipoint injection

1. Úvod

Od prvého letu bratov Wrightovcov až do dnešných dní sa technológia leteckých pohonných jednotiek neustále vyvíja od piestových až po najmodernejšie dvojprúdové motory, ktoré sa ešte ďalej zdokonaľujú k väčším výkonom a hospodárnosti. Avšak piestové motory aj v dnešnej dobe majú stále svoje miesto. Najmä v oblasti všeobecného letectva kvôli výhodám ako napríklad jednoduchší a lacnejší servis a prevádzka, nižšia nadobúdacia cena, avšak mimo iného existuje ďalšia kategória lietajúcich zariadení ako napríklad lietadla typu ultralight, či rôzne iné malé lietajúce zariadenia (motorové padáky,...), kde pravidla certifikácie dovoľujú použiť aj iný agregát ako certifikovaný letecký motor a teda otvára sa možnosť variácií pohonných jednotiek, ktorá je širšia a tu svoje uplatnenie môžu nájsť práve aj automobilové piestové motory, ktoré však musia byť pre letecké potreby upravené, najmä kvôli špecifickým prevádzkovým požiadavkám iným ako v automobilovej prevádzke, spojenými s vlastnosťami atmosféry, teda menovite poklesu statického tlaku, hustoty vzduchu ale aj teploty.

V článku sa venujem praktickým možnostiam úpravy motora, ktorý bol pohonnou jednotkou v legendárnom aute VW Beetle a neskôr svoj letecký debut zažil v ultralight lietadle Aeropro Eurofox. Počas prevádzky v tomto lietadle sa ukázali niektoré zlé vlastnosti pôvodnej stavby a vybavenia motora. Najmä na pôde plnenia a prípravy zmesi, ktorej sa v tomto článku venujem. Pri úprave týchto systémov sa snažím, aby riešenia boli jednoduché na servis, mali dlhú životnosť, maximálnu efektivitu a vysokú mieru spoľahlivosti, čo je na pôde leteckých pohonných jednotiek mimoriadne dôležité.

2. Metodika práce

Cieľom práce je úprava a prispôbenie daného motora na podmienky práce v leteckých podmienkach. Nevyhnutnosťou na dobré fungovanie z hľadiska dostatočného výkonu motora aj vo vyšších letových hladinách je preplňovanie.

Paralelným cieľom je úprava palivovej sústavy, ktorá by mala vyriešiť stavajúce problémy, ktoré sú prirodzené pre karburátorovú prípravu zmesi v riešených podmienkach.

Pri hľadaní vhodných riešení som použil tieto metódy:

2.1. Metóda pozorovania

Túto metódu som použil v absolútnom počiatku práce, kde som najmä prostredníctvom internetových článkov a blogov hľadal praktické riešenia aerokonverzií automobilových motorov doma, aj v zahraničí a snažil sa odsledovať dobré, ale aj zle riešenia, čo mi dalo dobrý základ na hľadanie riešení aerokonverzie riešenej v tomto článku.

2.2. Analýza

Metóda analýzy napomohla pri výbere vhodných riešení, kde som hodnotil vhodnosť jednotlivých systémov prípravy zmesi a druhy zariadení zabezpečujúcich preplňovanie existujúcich v technickej praxi na základe teoretických faktov uvedených najmä v knižných zdrojoch.

2.3. Charakteristika

Charakteristiku využívam pri opise finálnych riešení spomínaných sústav, kde charakterizujem jednotlivé riešenia, najmä prečo som práve spomenuté riešenie použil a aké vlastnosti a benefity prinášajú.

3. Pôvodný stav



Obrázok 1: Riešený motor nainštalovaný v lietadle Eurofox. Zdroj: Spravidná dokumentácia.

Jedná sa o motor z produkcie Volkswagen, ktorý pochádza z modelu Beetle. Podľa sprievodnej dokumentácie k motoru, má zdvihový objem 1835 cm³, kompresný pomer 8:1 a maximálny zdvihový výkon 68 hp pri 3600 ot./min. Pri danom kompresnom pomere môže motor bez nežiadúcich detonácií spaľovať iba palivo s oktánovým číslom vyšším ako 95 s prídavkom olova, takže ideálna možnosť je AVGAS 100LL.

Tento motor v minulosti predstavoval pohonnú jednotku ultraľahkého lietadla Aeropro Eurofox, registrácia OM-S176. Prípravu zmesi zabezpečovala dvojica karburátorov Jikov z motocykla Jawa 350. Motor bol plnený atmosféricky.

V danej konfigurácii bol motor schopný dodávať lietadlu dostatočný výkon na vzlet a lietanie v malej výške, ale značne obmedzuje maximálny potenciál lietadla vo väčších výškach, kde motor najmä z titulu atmosférického plnenia, nedosahuje dostatočné výkony.

4. Systém preplňovania

Aplikáciu preplňovania považujem ako vhodnú vzhľadom k vyššie spomenutým faktom. Pri návrhu vychádzam z toho, že systém preplňovania, by mal spĺňať nasledujúce kritéria.

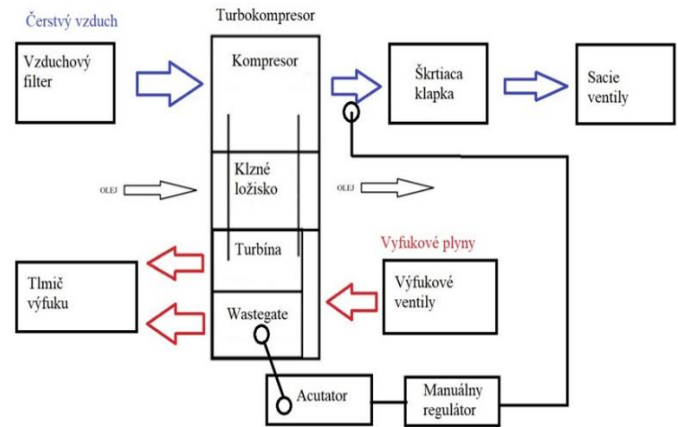
Systém bude využívať turbokompresor, vzhľadom k faktu, že motor má pomerne malý výkon a preplňovanie kompresorom by nebolo efektívne.

Preplňovanie bude slúžiť na kompenzovanie deficitu statického tlaku vychádzajúceho zo zmeny tlaku s výškou v rámci atmosféry a teda motor bude plnený maximálne plniacim tlakom jednej atmosféry, keďže motor bol konštruovaný ako atmosféricky plnený.

Plnenie vyšším plniacim tlakom by dávalo benefit v podobe zvýšenia výkonu, ale bolo by nutné tomu prispôbiť konštrukciu motora ako napr.: tesnenie pod hlavou, spojenie hlavy s blokom motora, či ojnice a takisto v dôsledku väčšieho množstva odpadového tepla aj chladenie motora, čomu sa

chcem vyhnúť. Pretože to nie je efektívne z hľadiska hmotnosti, technických možností a ceny a v takom prípade, by bolo lepšie hľadať iný motor. Mojim cieľom je udržiavať plniaci tlak 1,0 atm do maximálnej novej nominálnej výšky.

Navyššie by som pri plnení vyšším tlakom bol nútený použiť intercooler, aj kvôli väčším tendenciám teplého vzduchu k detonačnému horeniu, čomu sa chcem takisto vyhnúť. [1]

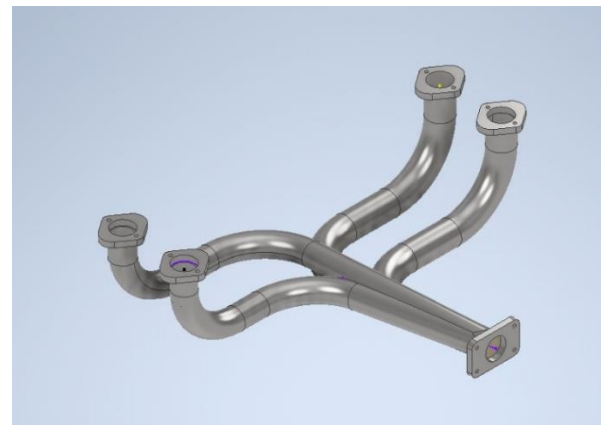


Obrázok 2: Schematické znázornenie navrhovaného systému preplňovania. Zdroj: Autori.

4.1. Turbokompresor:

Použitým turbokompresorom bude Borg Warner S1BG. Tento typ reguluje výkon prostredníctvom wastegate, ktorú otvorí aktuátor, kde sa pohyb tvorí prostredníctvom pružnej steny, na ktorú pôsobí tlak zo sacieho potrubia. Tlak pri ktorom sa wastegate otvorí sa „nastavuje“ zvolením pružiny takej tuhosti, pri ktorej je tlak dostatočný na pretlačenie pružiny, čo vykoná už spomínané otvorenie wastegate. V našom prípade tento tlak bude 1,05 atm a vyšší, tak aby sme splnili podmienky preplňovania, ktoré sme si zadefinovali, ale aby pri maximálnom nastavení nedochádzalo k znižovaniu plnenia. [1]

4.2. Výfuková sústava



Obrázok 3: Výfukový zvod. Zdroj: Autori.

Pre roztáčanie turbíny potrebujeme na turbínu priviesť kinetickú energiu spalín, pokiaľ možno s najmenšími hydraulickými stratami, preto v tomto prípade bola snaha záhyby potrubia viesť najväčším možným polomerom. Koniec potrubia je

pripojený priamo k telu krytu turbíny zhodnou prírubou. Potrubie bude vyrobené z nerezovej ocele, zvárané oblúkovým zváraním v ochranné atmosfére argónu metódou TIG.



Obrázok 4: Tlmič výfuku. Zdroj: Autori.

Druhou časťou výfukového systému je tlmič výfuku, ktorý bude uchytený o výstupnú časť turbínovej časti turbokompresora a budú sa v nej zbíhať plyny, ktoré prechádzali turbínou, ale aj plyny vypustené cez wastegate.

4.3. Sacie potrubie

Z vývodu kompresora bude stlačený vzduch vedený ku škrtiacej klapke prostredníctvom kolena, kde bude touto klapkou regulovaný prívod vzduchu a tým aj výkon.

Ďalej sacie potrubie vedie nasávaný vzduch od škrtiacej klapky namontovanej na spodnej časti dielu k dvom kanálom vedúcim k sacím ventilom, ktoré už sú súčasťou motora. Oba diely je vhodné vyrobiť z ABS plastu, z titulu redukcie hmotnosti a dostatočnej tepelnej odolnosti tohto typu plastu.

5. Systém paliva

Ako som už spomenul, pôvodný systém prípravy zmesi pozostával s dvojice karburátorov Jikov. Dôvod pre úpravu tohto systému vidím ako vhodnú z nasledujúcich dôvodov:

- možnosť námrazy na karburátore
- prakticky nemožná synchronizácia karburátorov
- problémy plavákového karburátora pri zmene polohy lietadla dodávať palivo v správnom množstve do motora
- nižší výkon oproti príprave zmesi so vstrekovaním

Fakt, že náš motor má stavbu typu boxer, vytvára komplikáciu v potrebe použiť dva karburátory na obsluhu oboch strán, ktoré sú od seba značne vzdialené v porovnaní napríklad s radovým motorom. Nevyhnutnosťou na dlhodobú, spoľahlivú a vyváženú prevádzku je symetrické zaťaženie všetkých valcov, preto je nevyhnutná aj synchronná práca a príprava zmesi v oboch karburátoroch. Dokonalá synchronizácia karburátorov, dostatočná na takú úroveň prípravy zmesi ako to dokáže systém vstrekovania je podľa môjho názoru možná iba v teoretickej rovine.

Technické možnosti dnešnej doby nám dávajú možnosti v podobe jednobodového a viacbodového nepriameho vstrekovania a viacbodové priame vstrekovanie.

Priame vstrekovanie je jedno z najúčinnějších riešení, čo sa týka prípravy zmesi, avšak nie je vhodné ho zvoliť v našom prípade, keďže vyžaduje mechanické zásahy do hláv valcov, kvôli uchyteniu vstrekovačov. Vzhľadom k veku motora a konštrukcie pevnosti toto riešenie nie je vhodné, nakoľko by tieto otvory mohli znížiť pevnosť hláv.

Vhodným riešením je teda podľa môjho názoru nepriame vstrekovanie. To či jednobodové alebo viacbodové rozhodol, fakt, že viacbodové je na inštaláciu a prispôbenie rovnako náročné ako jednobodové s tým, že viacbodové nám dá benefit v podobe lepšej distribúcie paliva a tým daný aj čiastočne vyšší výkon a teda sa zdá byť najzmysluplnejšie. [1, 2]

5.1. ECU

Ideálny systém podľa môjho názoru a skúseností na prípravu zmesi s viacbodovým nepriamym vstrekovaním je systém managementu motora Siemens Simos 2P z vozidla Felicia, ktorý bol pôvodne zvolený a z ktorého použijeme veľkú časť príslušenstva.

Po dlhšom pátraní som sa rozhodol použiť produkt českej firmy IMFsoft, s.r.o, ECU Master, pretože oproti systému Simos 2P bol od začiatku vyvíjaný ako plne modulárny systém, ktorý si môžeme prispôbiť prostredníctvom softwaru presne podľa našich predstáv a odpadá množstvo komplikácií, ktoré prinášajú prispôbenia z automobilového priemyslu, najmä čo sa týka ekologickej výbavy ako odvetrávanie nádrže cez zásobník s aktívnym uhlím, či lambda sonda.

Jednotka ECU Master je navrhnutá na riadenie časovania zapaľovania a časovania vstrekovania zážihových motorov s ľubovoľnou stavbou a usporiadaním snímačov, použitých vstrekovačov, palivových čerpadiel a ďalšieho príslušenstva, ktoré nami vytváraná aplikácia potrebuje. Naším naprogramovaním pomocou PC softwaru, ktorý je súčasťou balenia ECU, si môžeme na základe vstupov zo senzorov nastaviť správnu činnosť zapaľovania a vstrekovania. Okrem iného môžeme motor vďaka tomuto systému veľmi jednoducho a prehľadne monitorovať.

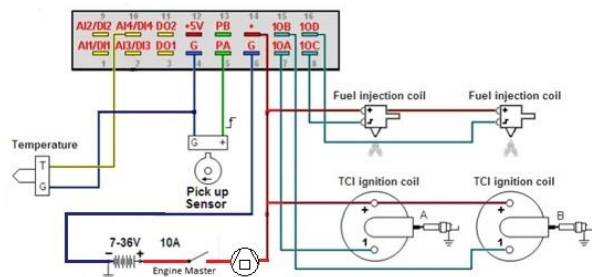
Čo sa týka zapaľovania existujú dve varianty: CDI s kapacitnou zapaľovacou cievkou a pre náš účel vhodnejší typ TCI, ktorý má výstup pre indukčnú zapaľovaciu cievku a podporuje aj ovládanie vstrekovačov.

Funkcia ECU MASTER sa zakladá na technológii FPGA zaisťujúcej digitálne-analógový prevod signálu snímačov, jeho vyhodnotenie a výpočet 64bit matematického modelu reálneho otáčania motora. Súčasne rieši redundanciu snímania, plné, rozšírené funkcie a záznamy signálov.

V našej aplikácii zo sortimentu využijeme model ECU MASTER ignition MAP sensor 4TCI – 12V, ktorý má 4 výstupy na reguláciu časovania, kde dva vstupy budú ovládať vstrekovanie 10C a 10D (obr.5) a dva vstupy zapaľovanie 10A a 10B, čo bude presne vhodné pre našu konfiguráciu. Na napájanie potrebuje 12V DC, vyrába sa však aj verzia na 24V DC a 36V DC

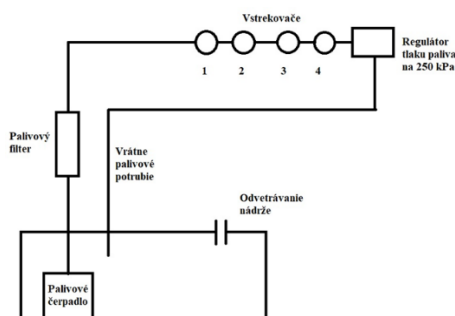
Špecifikom verzie „MAP sensor“ je, že na rozdiel od štandardného modelu má meranie plniaceho tlaku v sacom potrubí. Štandardný model na reguláciu vstrekovania, využíva monitorovanie natočenia škrtiacej klapky pomocou Hallovhovho senzora.

ECU umiestnime do prístrojového štítu v kabíne, mimo priestoru motora kde sa dosahujú vyššie pracovné teploty, z dôvodu dodržiavania prevádzkového intervalu teplôt od -40 do 85°C. [3,4]



Obrázok 5: Schéma zapojenia ECU pre našu aplikáciu. Zdroj: Autori.

5.2. Palivová nádrž a vedenie



Obrázok 6 : Schematické znázornenie palivového vedenia. Zdroj: Autori.

Prívod paliva z nádrže bude zabezpečovať ponorné elektrické čerpadlo, pôvodom zo systému Simos 2P, ktoré je chladené palivom, ktorého súčasťou je aj plavákový snímač stavu paliva, ktorého výstup je odporový (plná nádrž cca 10 Ω, prázdna cca 300 Ω). Výstupný tlak paliva je 300kPa. [3]

Odvetrávanie nádrže bude štandardne tvorené drenážou v najvyššom bode nádrže.

Palivo ďalej putuje cez palivový filter, ktorý môžeme zvoliť automobilový: napríklad od firmy Bosch, model N2820, kde sa čistí palivo najmä od pevných častíc a takéto čisté palivo prúdi k jednotlivým vstrekovačom.

V našom prípade bude kvôli rozmerom motora distribučná palivová rampa, ktorá sa pri automobilových aplikáciách používa, nahradená palivovým vedením tvoreným z flexibilnej teflonovej hadice s kovovým a nylónovým opletom. K jednotlivým vstrekovačom budú palivo privádzať a celý systém prepájať T-profily so zavíto.

Výstup vstrekovača, bude umiestnený kolmo na sacie ventily motora. Množstvo paliva vstreknutého do spaľovacieho priestoru je ovládané časom vstrekku, čo zabezpečuje ECU.

Palivové vedenie sa snažíme viesť tak, aby nebolo v blízkosti výfukového potrubia a čo najďalej od rebrovania hláv valcov. V prednej časti palivové vedenie, vedieme pred ochrannými stenami a ponad blok motora.

Za posledným vstrekovačom, bude potrubie viesť palivo cez regulátor tlaku paliva od výrobcu VDO (model 047133035), ktorý udržiava konštantný tlak v celej sústave na 250kPa, čo nám dovoľuje regulovať zmes časom otvorenia vstrekovača. Výstup z regulátora vedie späť do palivovej nádrže ako vratné palivo. [3,4]

5.3. Regulácia výkonu

5.3.1. Škrtiaca klapka

Škrtiaca klapka bude od výrobcu Races, ovladaná plne mechanicky prostredníctvom lanového mechanizmu, ktorý sa uchytí do drážky na kolese (vľavo na obr.7)



Obrázok 7: Škrtiaca klapka Races 70mm. Zdroj: Autori.

Vybraná škrtiaca klapka má vnútorný priemer hrdla 70mm, vyrobená je z hliníka AL6061. Prívod vzduchu od turbokompresora bude zo spodnej strany a z vrchného hrdla bude potrubie rozvetvené k jednotlivým sacím ventilom. [7]

Na správnu reguláciu paliva, tak aby bol dodržaný súčiniteľ prebytku vzduchu musí mať ECU spätnú väzbu prostredníctvom senzorov. Jednotka ECU Master vo verzii „MAP Sensor“ využíva integrovaný snímač tlaku v saní s rozsahom -80 až 150kPa. [8]

5.3.2. Vstrekovače

Vstrekovače budú od výrobcu Siemens, model 5WP4274 a danej konfigurácii sú štyri. Vstrekovač je ovládaný prostredníctvom dvoj-pinu na bočnej strane, ktorého prechodový odpor je 18,5Ω, čo vyhovuje rozmedziu 0,2-25 Ω, ktoré vyžaduje výrobca ECU. Jeho načasovanie a interval otvorenia je ovládaný prostredníctvom napäťových impulzov z ECU.

V našom prípade bude vstrekovač pre valec č.1 paralelne zapojený so vstrekovačom pre valec č.4 a ovládací signál pôjde z konektora 10C. Pre valec č.2 a č.3, pôjde signál z konektora 10D.

V týchto synchronizovaných valcoch síce prebieha iná fáza 4-taktného cyklu. Pri vstrekku bude v jednom valci prebiehať nasávanie s otvoreným ventilom a v druhom expanzia zo

zatvoreným ventilom. Takéto nastavenie však bude mať výhodu v tom, že uzavretý ventil bude chladený palivom pri práve prebiehajúcej expanzii a tým, že bude obmývaný, redukuje sa aj tendencia karbónových depozitov na jeho hornej strane.

Na to, aby sme dodržali súčiniteľ prebytku vzduchu budú intervaly vstrekú nastavené tak, že dávka adekvátna množstvu vzduchu sa vstreknú dvojfázovo. Prvá fáza počas priebehu predchádzajúcej expanzie a druhá počas otvorenia sacieho ventilu. [3,8,10]



Obrázok 8: Vstrekovač 5WP4274. Zdroj: Autori.

5.4. Senzory a snímače

5.4.1. Snímač polohy kľukového hriadeľa

Monitorovanie polohy kľukovej hriadele potrebujeme z dvoch dôvodov. Za prvé na monitorovanie otáčok a za druhé na správne načasovanie vstreknutia paliva do valcov práve v momente, kedy je otvorený sací ventil daného valca a takisto slúži na správne časovanie zapalovania.

Monitorovanie funguje na základe použitia Hallovoho snímača a snímacieho kotúča, ktorý je v blízkosti zotrvačnika uchytený o kľukový hriadeľ a jeho výstup je zapojený do ECU.

Hallov snímač je do riadiacej jednotky zapojený tromi vodičmi: červený je +5V, čierny je G, teda uzemnenie a zelený - informácia o meranom stave a je pripojený k PA alebo PB konektoru.

Na to, aby mal snímač čo snímať potrebujeme snímací kotúč pevne spojený s kľukovým hriadeľom a je vyrobený z feromagnetického materiálu, ktorý ma po obvodu výstupky a rôzne vybratia, vďaka ktorým vie Hallov snímač určiť polohu kľukového hriadeľa.

Po fyzickej inštalácii týchto dvoch vyššie spomenutých snímacích členov, treba ešte v riadiacej jednotke nastaviť správny typ snímacieho kotúča a typ čidla Hall. Keďže diely snímacích členov a ECU majú rovnakého výrobcu, mali by sme tento typ snímačov v nastavení jednoducho nájsť [6,8]

5.4.2. Snímač teploty hláv valcov

V spolupráci s ECU Master, ktorá zodpovedá za správnu prípravu zmesi a činnosť zapalovania, má monitorovanie teploty hláv valcov zmysel pre vhodné zvolenie súčiniteľa prebytku vzduchu, najmä pri štarte motora, kedy je nevyhnutné zmes obohatiť z dôvodu kondenzácie paliva na studených stenách valcov, čo by

pri dodávaní zmesi štandardnej prevádzkovej $\lambda = 1$, spôsobilo nemožnosť zapálenia paliva a nemožnosť naštartovania.

Preto musí ECU byť nastavená tak, že pri nízkej teplote hláv valcov nastaví prípravu zmesi do takzvaného bohatého sytičového režimu, kedy $\lambda < 1$ až do momentu, kedy teplota hláv valcov dosiahne teplotu, pri ktorej sa palivo nebude zrážať na stenách a prepne do režimu štandardnej zmesi $\lambda = 1$.

Pri tejto aplikácii vzhľadom k prevádzkovým teplotám je podľa mňa vhodné nastaviť ECU tak, že do teploty hlavy valcov menšej ako 90°C bude zmes nastavená v sytičovom režime a po prekročení 90°C a smerom k vyšším teplotám sa nastaví už do štandardného režimu $\lambda = 1$.

Teplotné senzory, ktoré výrobca ECU má v rámci príslušenstva sú iba do maximálneho teplotného rozsahu 150 °C. Tu však musíme brať do úvahy fakt, že náš motor je vzduchom chladený a teda dosahuje omnoho vyššie prevádzkové teploty.

Podľa výrobcu sú prevádzkové teploty motora nasledovne:

Teplota hláv valcov pri horizontálnom lete: 350°-375°F/176°C-190°C

Teplota hláv valcov pri stúpaní: 420°F/215°C (5 min)

Maximálna neprekročiteľná teplota hláv valcov: 450°F/ 232°C.

Z vyššie uvedeného teda vyplýva, že musíme zvoliť iný model tepelných snímačov s vyšším rozmedzím pracovných teplôt, ktoré musia mať meranie založené na odporovom princípe. Spolupráca so snímačmi iných výrobcov na prácu ECU nebude mať žiadny negatívny vplyv, keďže jednotka ECU Master je značne modulárna a vďaka priloženému softwaru, si vieme režim je práce priradiť k daným teplotám, respektíve odporovým hodnotám snímača prislúchajúcim daným teplotám. [6,9]

V našom prípade by som použil na meranie termočlánok typu K, ktorého pracovné rozmedzie teplôt je od -65 do 250 °C. Meranie termočlánkom nie je založené na zmene prechodového odporu, ale na generovaní termoelektrického napätia, takže by sa javilo ako nevhodné vzhľadom k odporovému meraniu teploty ECU, ktoré snímače od výrobcu používajú. Takéto meranie nám však ECU Master dovoľuje vďaka tomu, že vstup je elektronický a aj v prípade odporového merania je vlastne výstupnou veličinou zmena hodnoty elektrického prúdu a v tomto prípade nárastom napätia pri konštantnom odpore dôjde k zmene prúdu.

6. Záver

Cieľom práce bolo načrtnúť nové efektívne riešenie palivovej sústavy, dodávajúce lepšie prevádzkové vlastnosti a pridanie systému preplňovania, ktoré by výrazne zlepšilo výškové charakteristiky riešeného zážihového motora.

V prvej časti sa venujem opisu činnosti, ktorá predchádzala písaniu tohto článku, najmä čo sa týka získavania a práce s informáciami.

Následne som opísal navrhovanú sústavu preplňovania, z čoho bude pozostávať a prečo som konkrétne časti zvolil a v rámci možnosti bola snaha o čo najväčšiu efektivitu, najmä z hľadiska hydraulických strát a hmotnosti.

Pri palivovej sústave bola snaha o čo najvhodnejšie riešenie, ktoré vyrieši problémy aktuálnej konštrukcie. Zároveň bude

konštrukčne jednoduché, spoľahlivé a vhodné prihládajú na konštrukčný vek motora. Vďaka zvolenému ECU máme široké možnosti flexibility managementu motora, čo nám otvára vynikajúce možnosti na ďalšie vylepšovanie daného systému a súčasne dáva možnosť urobiť ovládanie ergonomicky optimálne, zrovnateľné napríklad s lietadlom DA40TDi a jednoduchý presný monitoring parametrov motora.

Pri návrhu oboch sústav boli spoločným menovateľom: Vysoká miera spoľahlivosti a jednoduchosť, čo prispieva k bezpečnosti, ktorá je v leteckej mimoriadne dôležitá a nízke náklady, bez ktorých by daný návrh nedával zmysel. Keďže je určený pre skupinu lietadiel UL, kde práve nižšie náklady sú zmyslom tejto kategórie lietajúcich zariadení.

Referencie

- [1] KŘIŽ, J. 2008 Pohonná jednotka, Žilinská univerzita, 2008 . 285 s. ISBN 9788080708726
- [2] RAUCHER, J. 2004. Spařovací motory, Studijní opory. Brno : VUT FSI Brno, 2004. 235 s.
- [3] JMJM.CZ , Elektronické vícebodové vstřikování paliva Siemens Simos 2P [online]. [cit. 01.02.2021]. Dostupné na internete: <http://jmjm.cz/clanky-skoda-felicia-1300-mpi-siemens-simos2p.php>
- [4] ECU MASTER CDI - TCI scheme & configuration [online]. [cit. 04.02.2021]. Dostupné na internete: https://imfsoft.com/files/master/documentation/MasterSchemeV8_43_EN.pdf
- [5] VÁŇA P. 2002 Siemens Simos 2P popis managementu motoru [online]. [cit. 21.02.2021]. Dostupné na internete:
- [6] <https://www.skoda-techweb.cz/clanek.php?id=335>
- [7] Snímače IMSoft [online]. [cit. 06.03.2021]. Dostupné na internete: <https://imfsoft.com/kategorie-snimace>
- [8] Škrtiaca klapka Races [online]. [cit. 09.03.2021]. Dostupné na internete: <https://race-shop.sk/skrtiace-klapky/4590-univerzalna-skrtiaca-klapka-70mm.html>
- [9] ECU MASTER – MAP Sensor [online]. [cit. 04.03.2021]. Dostupné na internete: <https://imfsoft.com/kategorie-ridici-jednotky/ecu-master-map-sensor>
- [10] Oil & Head Temperature Specs from Great Plains Aircraft [online]. [cit. 11.03.2021]. Dostupné na internete: <https://shoptalkforums.com/viewtopic.php?t=142567>
- [11] Vstrekovacia trysky [online] Dostupné na internete: [https://www.mototechdiely.sk/produkt/original-vstrekovacia-tryska-047906031_\(citované_2021-01-28\)](https://www.mototechdiely.sk/produkt/original-vstrekovacia-tryska-047906031_(citované_2021-01-28))

Andrej Pukač – narodený 18. 03. 1999 v Žiline. V roku 2018 absolvoval Strednú odbornú školu elektrotechnickú, Komenského 50 v Žiline, následne v tom istom roku začal v septembri štúdium na Žilinskej univerzite v Žiline, odbor letecká doprava

AERODYNAMIC PROFILE DRAG

PROFILOVÝ AERODYNAMICKÝ ODPOR

Matej Sabo

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
sabo12@stud.uniza.sk

Martin Bugaj

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

Abstract

Higher awareness of aviation sustainability and environmental impact creates more research on profile drag reduction. The basic principles of aerodynamic profile drag are described and its role within the total drag. The boundary layer is defined using mathematical and physical principles of fluid dynamics. There are two types of movement inside the boundary layer: laminar and turbulent. In these, their impact on profile drag is analysed. The profile drag of a wing has two sources: form drag and friction drag. Applications with the most impact, throughout history, on both types of drag reductions were reviewed. Because most of the total drag comes from friction, researchers focus more on it compared to form drag. The significant way of reducing friction drag is postponing the transition of laminar flow into turbulent. The control of laminar flow became crucial for reducing friction drag. In the last two decades, European Union supported multiple projects concerning laminar flow control. These advancements in the field are starting to get implemented and tested on new aircraft by manufactures.

Keywords

aerodynamic drag, profile drag, boundary layer, drag reduction, laminar flow control

1. Úvod

V modernom svete postupujúcom čoraz väčšej globalizácii, získava letecká doprava väčšie zastúpenie. Výkonnosť a bezpečnosť moderných lietadiel poskytla možnosť cestovania širokej verejnosti. S výrazným rastom sa preto pozornosť presúva viac k ekonomickým a ekologickým problémom. Obe odvetvia spája snaha znížiť emisnú stopu leteckej dopravy.

Jednou z možných oblastí pre dosiahnutie daného cieľa je zníženie odporu. Pri znižovaní odporu je potrebný menšie množstvo výkonu, teda paliva. Celkový odpor lietadla sa skladá z veľkého počtu zdrojov. Najväčší podiel na odpore má trecí odpor, ktorý je generovaný predovšetkým na krídle lietadla. [1] [2]

Znižovanie profilového odporu je dlhodobou témou. Výrazné posuny v oblasti znižovania tvarového a trecieho odporu lietadla nastávali v leteckej predovšetkým v prvej polovici dvadsiateho storočia. Následne sa obrátila pozornosť na skúmanie indukovaného odporu a trecí odpor sa dostáva opäť do popredia po roku 2000. [3]

Pre možnosti skúmania a porovnávania jednotlivých spôsobov redukcie profilového odporu je potrebné podrobne rozobrať vlastnosti prúdenia okolo krídla a následky jeho interakcie. Následne je možné analyzovať a porovnať jednotlivé spôsoby znižovania profilového odporu a vyhodnotiť, ktoré spôsoby majú potenciál dodatočnej redukcie odporu na krídle.

2. Základy mechaniky prúdenia

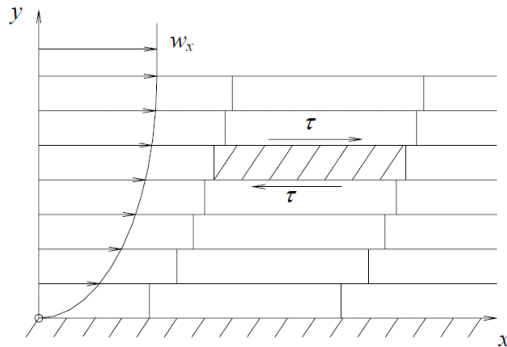
Tekutina je látka, ktorej častice sa vzájomne ľahko premiestňujú. Voľný pohyb častíc v tekutine spôsobuje zložité opisovanie a rozdielnosť pri ich skúmaní v makroskopickom alebo mikroskopickom pohľade. Pri makroskopickom pohľade sa tekutina správa ako spojité poddajná látka. Pri mikroskopickom treba brať do úvahy jednotlivé častice. [4]

Na to aby sme mohli tekutinu opisovať, potrebujeme mať zadané jej základné vlastnosti, ktorými vieme ďalej definovať stav tekutiny v priestore. Týmito vlastnosťami sú hustota ρ , tlak p a teplota T . Ak skúmame tekutinu aj s pohľadom na čas, je potrebné definovať aj jej rýchlosť w , v priestore. [4]

Dodatočne ku stavovým vlastnostiam, každá reálna tekutina má istú viskozitu. Pre základné vysvetlenie viskozity, sa pre jednoduchosť budeme zaoberať iba laminárnym prúdením. Pri ustálenom laminárnom prúdení sa jednotlivé molekuly tekutiny pohybujú rovnakou rýchlosťou a vzájomná interakcia častíc je minimálna a s malým odovzdávaním hybnosti. V prípade ak tekutina prúdi popri inej látke, častice na rozhraní jednej látky zasahujú do oblasti druhej látky. To spôsobí zmenu hybnosti jednotlivých častíc. K prenosu zmeny hybnosti v rámci tekutiny nastáva pomocou disperzie, rovnako ako pri prenose tepla. Častica môže iba odovzdať hybnosť ďalšej častici, nie naopak, preto sa viskozita prejavuje iba pri pohybe tekutiny. Podľa druhu jednotlivých látok a pohybu voči sebe, môžu častice takmer úplne zastaviť alebo až zmeniť smer. [4]

Ak uvažujeme o prúdení tekutiny trubicou, častice pri stenách trubice sú nárazmi do nerovností v povrchu trubice spomaľované, až zastavované. Častice nachádzajúce sa ďalej od

stien následne vrážajú do spomalených častíc. Takýmto spôsobom sa menšia rýchlosť častíc pri stene trubice prenáša ďalej do vnútra tekutiny. [4]



Obrázok 1: Zobrazenie vrstiev tekutiny v hraničnej vrstve. Zdroj: [4].

Prúdenie tekutiny pozdĺž steny trubice môžeme rozdeliť na malé vrstvy, kde rýchlosť jednotlivých vrstiev prúdu označíme w_x . Na rozhraní dvoch vrstiev vzniká šmykové napätie τ , ktoré druhej vrstve udeľuje zrýchlenie v smere podľa rozdielu rýchlostí. Pre výpočet hodnoty τ platí Newtonov vzťah pre laminárne prúdenie: [4]

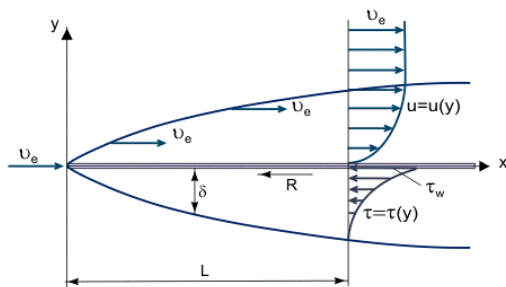
$$\tau = \eta * \frac{\partial w_x}{\partial y} \quad (1)$$

Kde η je dynamická viskozita laminárneho prúdenia. [4]

Viskozita je teda vlastnosť tekutiny, určujúca v akom množstve dochádza k disperzii hybnosti do prostredia tekutiny. Ak je jej hodnota vyššia, výsledné tangenciálne napätie v látke sa zväčší. To prakticky môžeme pozorovať pomalším tečením tekutiny a naopak. [4]

2.1. Hraničná vrstva

Hraničná vrstva je z časti znázornená na obrázku 1. Jej vznik je dôsledkom viskozity tekutín a pravidlom žiadneho šmyku. To znamená tekutina priamo dotýkajúca sa s povrchom nadobúda rovnakú rýchlosť ako povrch. [4]



Obrázok 2: Hraničná vrstva plochej dosky. Zdroj: <https://thermopedia.com/content/595> (citované 2021-01-18).

Hraničnú vrstvu definuje oblasť, kde rýchlosť vzduchu je znížená vplyvom ofukovaného objektu. Predpokladajme ofukovanie stacionárnej rovnej dosky, s hĺbkou L , vzduchom o rýchlosti V_∞ . Rýchlosťou na okraji hraničnej vrstvy označujeme pomocou U_e . Rýchlosť vzduchu vo vnútri hraničnej vrstvy je definovaná ako $u = u(y)$, kde y je normálová vzdialenosť od povrchu. Okraj hraničnej vrstvy definujúci hrúbku hraničnej vrstvy je miesto kde

rýchlosť vzduchu je rádovo rovnaká ako rýchlosť nerozrušeného prúdu V_e . Hrúbka hraničnej vrstvy δ sa postupne od nábežnej hrany k odtokovej zväčšuje. Zväčšovanie hraničnej vrstvy, rovnako ako rýchlosť, nie je lineárne. Vzduch na začiatku, pri povrchu dosky, je takmer okamžite spomalený na $u = 0$, pretože dotýkajúca sa vrstva vzduchu musí mať zhodnú rýchlosť s rýchlosťou dosky. Nasledujúca vrstva má výrazne rozdielnu rýchlosť oproti predošlej. Rozdiel rýchlostí spôsobuje veľké šmykové napätie medzi vrstvami, ktoré spôsobuje náhly rast hraničnej vrstvy na začiatku dosky. [3] [4] Na obrázku 2 je štandardne znázornená hraničná vrstva aj s profilom rýchlosti z hornej strany dosky. V reálnej prevádzke má hraničná vrstva tvar znázornený na spodnej strane dosky. V oboch prípadoch je odovzdanie energie rovnaké a pri skúmaní nemá vplyv ktorý model používame. [5]

2.2. Typy prúdenia v hraničnej vrstve

Prúdenie tekutiny v hraničnej vrstve nadobúda dva základné spôsoby. Laminárne a turbulentné prúdenie. Tretím stavom je ak sa laminárne prúdenie mení na turbulentné a nazýva sa prechodové prúdenie. Laminárne prúdenie je plynulé, jednotlivé vrstvy prúdu sa nepremiešavajú. Prechodové prúdenie sa skladá z laminárneho prúdu, v ktorom vznikajú miesta víry. Takéto víry stimulujú premiešavanie jednotlivých vrstiev. Turbulentné prúdenie sa skladá výhradne z vírov, ktoré spôsobujú silné premiešavanie jednotlivých vrstiev. Označuje sa aj ako chaotické prúdenie, pretože je komplikované sledovať jednotlivé prúdnice. [4]

Rýchle premiešavanie vrstiev spôsobuje strmý prepád rýchlosti v spodnej časti hraničnej vrstvy, pri turbulentnom prúdení. To znamená, že šmykové napätie v hraničnej vrstve je väčšie než pri laminárnom prúdení. To spôsobuje, že trecí odpor je vyšší v turbulentnom prúdení v porovnaní s laminárnym. [4]

2.3. Reynoldsovo číslo

V tekutine s rýchlosťou V_e zotrvačná sila pohybujúcich sa častíc pôsobí proti zmene smeru vytvorenej obtekaným objektom, ak dané sily sú dominantné, častice nekopírujú tvar objektu a prúdenie je turbulentné. Naopak, ak trecie sily sú dostačujúce pre potlačenie zotrvačných síl tekutiny, prúdenie je plynulé, laminárne. Hodnota pomeru týchto síl sa nazýva Reynoldsovo číslo (Re) a vieme ho zapísať ako: [6]

$$Re = \frac{\text{zotrvačné sily}}{\text{trecie sily}} = \frac{V_e * l}{\nu} \quad (2)$$

Kde V_e je rýchlosť nerozrušeného prúdu, l je charakteristický rozmer telesa, ν je kinematická viskozita.

Nízke hodnoty Re sú charakterizované laminárnym prúdením, vysoké turbulentným. Hodna, pri ktorej dochádza ku prechodu laminárneho prúdenia na turbulentné sa nazýva kritické Reynoldsovo číslo (Re_{krit}) a jeho hodnota sa mení od vlastností tekutín. [6]

2.4. Trecí odpor

Ako bolo už spomenuté v predošlých častiach, hraničná vrstva vzniká vďaka výmene hybnosti medzi tekutinou a obtekaním telesom. Množstvo vymenenej hybnosti je závislé na veľkosti šmykového napätia. Ak vieme lokálne hodnoty šmykového

napätia, veľkosť odporu získame jeho integrovaním na celom povrchu krídla:

$$F_D = \int_0^L \tau_w dx \quad (3)$$

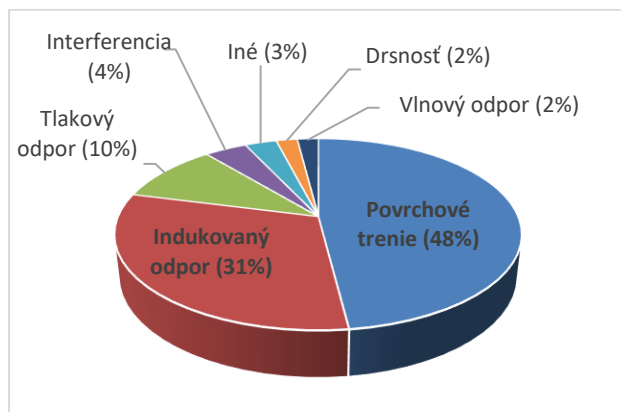
Pre zjednodušenie používame koeficient odporu, ktorý je pomerom šmykového napätia a dynamického tlaku tekutiny. Pri jeho dosadení do vzorca pre treciu silu dostávame vzorec:

$$F_D = C_F \frac{1}{2} \rho U_e^2 S_w \quad (4)$$

Kde S_w je skúmaná obtekaná plocha. [5]

3. Profilový odpor

Celkový odpor letúna je sila, o ktorú je celkovo spomalené lietadlo obtekajúcim prúdom vzduchu. Skladá sa z niekoľkých menších odporov. [3] Fabrizio De Gregorio uvádza základné rozloženie odporu na jednotlivé zdroje pre typické dopravné lietadlo podľa obrázku 3.



Graf 1: Graf zastúpenia jednotlivých zdrojov odporu na celkovom odpore. Zdroj: [2].

Najväčšiu časť odporu, z obrázku 3, tvorí povrchové trenie a následne indukovaný odpor. Akékoľvek ich zníženie sa výrazne prejaví kladným spôsobom na celkovom odpore. Graf znázorňuje odpor iba vo všeobecnosti, podiel jednotlivých zdrojov sa mení podľa rýchlosti, konfigurácie lietadla, polohy a vytváraného vztľaku. Ak skúmame odpor závislosti na rýchlosti letu, v základe ho môžeme rozdeliť na dve kategórie. Aktívny a pasívny odpor.

Aktívny odpor vzniká výhradne pri vytváraní vztľaku na krídle, preto je nazývaný aj indukovaný. Je dôsledkom vírov vznikajúcich na koncoch krídiel pri 3D obtekaní. Hlavným spôsobom jeho eliminácie je upravenie koncov krídiel do tvaru wingletu. Pasívny odpor je tvorený tvarom a povrchom jednotlivých častí letúna a ich interakciou s obtekajúcim vzduchom. Jeho veľkosť s rýchlosťou rastie a tvorí prevažnú časť pri lete cestovnou rýchlosťou. [1]

Pasívny odpor je pomerne rozsiahly, je ďalej rozdeľovaný na tri časti:

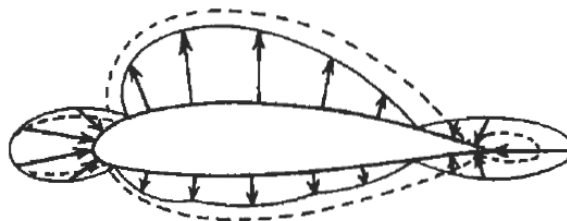
- Škodlivý odpor.
- Indukovaný odpor.

- Odpor krídel (profilový odpor).

Škodlivý odpor je tvorený tými časťami lietadla, ktoré neprispievajú ku vzniku vztľaku. Interferenčný odpor spôsobuje interakcia dvoch tvarovaných povrchov blízko seba, napríklad koreň krídla a trup lietadla. Odpor krídel je odpor tvorený výhradne nosnými plochami letúna, nazýva sa aj profilový odpor. Profilový odpor je skúmaný predovšetkým pri 2D obtekaní, zvyčajne vo veterných tuneloch. Pri komerčných lietadlách je ich zdrojom tvarový a trecí odpor. [1]

3.1. Tvarový odpor

Dôvodom vzniku tvarového odporu je strata tlaku a teploty v hraničnej vrstve. Tá spôsobuje nerovnomerné rozloženie tlaku okolo profilu krídla a výsledná sila, generovaná rozdielmi tlakov, smeruje proti smeru pohybu. Rozloženie je znázornené na obrázku 4. [3]



Obrázok 3: Rozloženie tlaku okolo profilu krídla. Prerušovaná čiara – neviskózna tekutina, plná čiara – viskózna tekutina. Zdroj: [3].

S tvarovým odporom je priamo prepojený aj úplav, ktorý je jeho následkom. Veľkosť úplavu sa zväčšuje s tvarovým odporom. Silnejší úplav za telesom je sprevádzaný výraznejším odtrhávaním prúdnic a charakteristickým turbulentným prúdením. Profily krídel moderných lietadiel majú podiel tvarového odporu približne 20% až 60% z profilového odporu, v závislosti na viacerých faktoroch. [3]

3.2. Trecí odpor

Trecí odpor je spôsobený interakciou vzduchu s povrchom krídla. Na povrchu sa vytvára tenká hraničná vrstva, ktorá je opísaná v predošlej kapitole. V skutočných podmienkach je hraničná vrstva na krídle vždy zmiešaného typu. Prúdenie na začiatku krídla je laminárne. Následne prechádza do zmiešaného a turbulentného. Ku koncu krídla sa odtrháva a vzniká úplav. Najväčšiu časť trecieho odporu vytvára turbulentné prúdenie a následná separácia od povrchu. Preto oddialenie prechodu má priaznivé účinky na trecí odpor. [3] V civilnej doprave tvorí trecí odpor 40 až 50% z celkového odporu. V prípade vetroňa, zameraného na čo najlepšiu aerodynamiku, môže trecí odpor tvoriť až 90%. [2]

4. Spôsoby zníženia profilového odporu

Zdrojov odporu na krídle lietadla je niekoľko. Závislosť medzi nimi sa prejavuje rovnako aj na spôsoboch zníženia odporu. Preto nie je možné zamerať sa iba na zníženie jedného zdroja. Akýkoľvek spôsob ovplyvnenia prúdenia vytvorí nové interakcie s časťou krídla ďalej po povrchu. Je preto dôležité nové spôsoby

zníženia odporu skúmať pri plnom profile krídla, prípadne v leteckej prevádzke.

Zníženie odporu môžeme rozdeliť podľa zdrojov. Zníženie tvarového odporu je možné pomocou úpravy geometrie profilu, pre čo najnižšie tlakové straty, predovšetkým za krídlom. Trecí odpor je možné znižovať udržiavaním laminárneho prúdenia pozdĺž celého povrchu alebo úpravou interakcie turbulentného prúdenia s povrchom. Zároveň modernejšie krídla pre udržiavanie laminárneho prúdenia používajú vhodné rozloženie tlakov na krídle, teda integrovaním daných spôsobov do jedného.

4.1. Spôsoby zníženia tvarového odporu

Hlavným dôvodom vzniku tvarového odporu je separácia hraničnej vrstvy od povrchu krídla a následný úplav. Taktiež popri tom vznikajúce rozdiely v tlakových poliach. Spôsobom pre zníženie tvarového odporu je teda udržanie hraničnej vrstvy na povrchu. To vieme doceliť dvoma spôsobmi, a to vytvorením efektívnych aerodynamických profilov alebo dodávaním energie hraničnej vrstve, predovšetkým za pomoci turbulizátorov. [1] [3]

Teóriu aerodynamických profilov ako prvý úspešne zaviedol Žukovskij, na začiatku dvadsiateho storočia. Následne v priebehu storočia vzniklo niekoľko matematických modelov a transformácií pre skúmanie tvarov, použiteľných pre optimalizáciu aerodynamických profilov. [3] Aktuálne existuje veľký počet skúmaných profilov, pre ktoré existuje niekoľko databáz alebo programov pre ich analýzu. Pri výbere profilu pre lietadlo je dôležitých viacero parametrov, nielen dopad na odpor. Preto väčšina výrobcov používa vlastné profily vytvorené pre konkrétny typ lietadla a jeho prevádzku. Pre experimenty alebo pre jednoduchšie lietadlá je možné použiť databázu ako má napríklad NACA. [7]

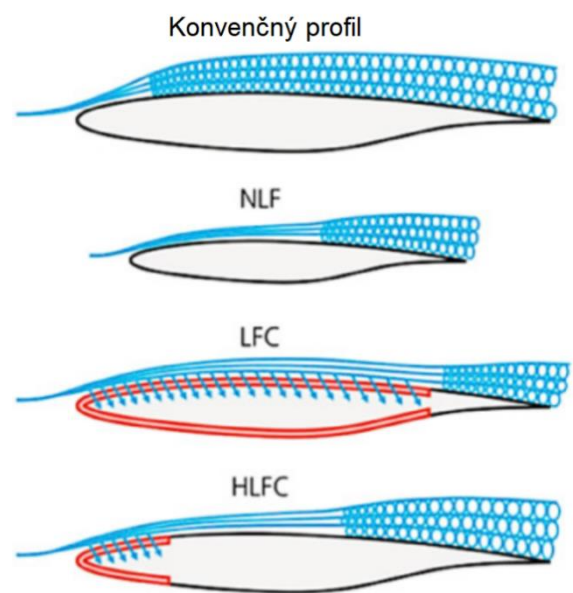
V určitých situáciách, ako napríklad veľký uhol nábehu, nízka rýchlosť prúdenia vzduchu okolo krídla alebo pri vzniku rázových vln, dochádza ku separácii hraničnej vrstvy od povrchu, aj napriek efektívnym tvarom krídiel. [3] Separáciu spôsobuje spomalenie, zastavenie a následné obrátenie smeru prúdu vzduchu v hraničnej vrstve, pričom je sprevádzaná s výraznou stratou energie a vztlaku. Jedným zo spôsobov dodania energie do spodných častí hraničnej vrstvy je použitie turbulizátorov — generátorov vírivého prúdenia. Tie boli vynájdené v roku 1947 Taylorom, ktorého koncept pozostával z malých plôšok uložených vedľa seba, kolmo na povrch krídla a mierne vychýlených zo smeru prúdenia vzduchu. Taylor týmto spôsobom vytvoril vírivé prúdenie, ktoré dodalo energiu hraničnej vrstve a oddialilo separáciu, čím dokázal výrazne zvýšiť vztlak a znížiť odpor, predovšetkým tvorený úplavom. Typy turbulizátorov sa mierne líšia a existuje viacero spôsobov ich implementácie. Medzi ne patria: lopatkové, naklonené plošiny, výstupky v tvare vidlice, dvojité plošiny a iné. Na začiatku sedemdesiatich rokov Kuethe navrhol spôsob ako prekonať hlavný problém konvenčných pasívnych turbulizátorov. Skúmal turbulizátory, ktoré mali pomer výšky k hrúbke hraničnej vrstvy 0,27 až 0,42. Víry spôsobené takýmito turbulizátormi neovplyvňovali úplav za lietadlom v takej miere, následkom čoho je podstatné zníženie parazitického odporu. [8]

4.2. Spôsoby zníženia trecieho odporu

Prvým a najviac skúmaným spôsobom zníženia trecieho odporu v posledných rokoch je odďaľovanie prechodu laminárneho prúdenia na turbulentné. Ide o rôzne spôsoby tlmenia rozručov a udržiavania čistého poťahu pre čo najkvalitnejšie prúdenie. V prípade ak už nie je ďalej možné udržať laminárne prúdenie existuje technológia vrúbok.

4.2.1. Využitie laminárneho prúdenia

Ideálnym prípadom je udržanie laminárneho prúdenia na celej hĺbke profilu krídla. Podmienky prostredia a rýchlosti letu lietadla to však neumožňujú, a tak dokážeme udržať iba čiastočné laminárne prúdenie. Hlavným cieľom skúmania je teda odďaľovanie bodu prechodu laminárneho prúdenia na turbulentné. [1] Jednotlivé oblasti skúmania môžeme zdeliť do troch skupín. Ovládanie laminárneho prúdu (Laminar Flow Control, LFC), ktoré využíva aktívne spôsoby ovládania, predovšetkým odsávanie hraničnej vrstvy. Prirodzené laminárne prúdenie (Natural Laminar Flow, NLF), ktoré používa pasívne metódy ako profily krídiel, hladkosť povrchu a iné. Najnovší koncept v oblasti skúmania laminárneho prúdenia je spoločné využitie NLF aj LFC v podobe hybridného ovládania laminárneho prúdenia (Hybrid Laminar Flow Control, HLFC). Na obrázku 5 je schematicky zobrazený rozdiel jednotlivých systémov a ich efekt na prúdenie v hornej časti profilu. [9]



Obrázok 4: Schematické porovnanie NLF, LFC a HLFC. Zdroj: [9].

Pri snahe udržať laminárne prúdenie u moderných dopravných lietadiel, boli určené tri najdôležitejšie rozrušenia stabilného prúdu, a to: Tollmien-Schlichtingova nestabilita (TSI), hranica vzniku hraničnej vrstvy (attachment line transition, ALT) a nestabilita bočného prúdenia (crossflow instability, CFI). Predovšetkým ALT a CFI sú rozrušenia spojené so šípovitou krídiel. V posledných dvadsiatich rokoch sa výskum v oblasti laminárneho prúdenia zameriaval na opis a pochopenie vzniku týchto rozručov a o snahu ich eliminovať. Vzniklo viacero projektov aj v rámci Európskej únie, ktorých cieľom je využitie konceptov NLF a HLFC. [10]

Výskum v oblasti NLF sa presmeroval zo skúmania samotného dvojrozmerného profilu krídla k trojrozmernému skúmaniu. Hlavným dôvodom je šípovitost krídiel moderných dopravných lietadiel, kedy vznikajú prúdenia pozdĺž nábežnej hrany. V prvých, približne dvadsiatich percentách, hĺbky profilu prevládajú rozruchy spôsobené ALT a CFI. Následne ďalej po krídle už prevládajú TSI, spôsobené povrchom krídla. Pomocou úpravy profilu je možné prispôsobiť tlakové polia v prospech zníženia rozručov, ale kompletne odstránenie rozručov, spôsobených šípovitostou, nie. [10]

Európska únia podporila niekoľko projektov pre výskum NLF, v rámci ktorých bola aj spoločnosť Airbus. Získané poznatky aplikovali na testovacím lietadle A340. Projekt pod názvom BLADE má upravenú koncovú časť krídla podľa novo optimalizovaných profilov s technológiou NLF. Testy vykonané na začiatku 2018 preukázali zníženie trecieho odporu o päťdesiat percent a zníženie celkového odporu o osem percent. Rýchlosť letu bola zachovaná na hodnote 0,75 Ma. [11]

4.2.2. Povrch krídla

Efekty povrchu krídla na laminárne prúdenie boli skúmané už v 1930 asociáciou NACA v Amerike. Preukázali, že drsnosť povrchu má zásadný vplyv na odpor lietadla pri akomkoľvek type prúdenia [16]. Prvou možnou úpravou je vytvorenie hladkého povrchu za pomoci leštenia. Okrem hladkosti je dôležité udržať správnu geometriu a tuhosť krídla. Pri krídlach vyrobených z nosníkov, rebier či pevného potahu, je takéto krídlo pri zaťažení náchylné k ohýbaniu a zmene tvaru. Zároveň pri spájaní takejto konštrukcie sú používané nity, ktoré vyčnievajú z povrchu a spôsobujú zvyšovanie odporu. Riešením je použitie väčšieho počtu rebier a zapustených nitov, ktoré sú v rovine s povrchom krídla. [1]

Pri prevádzke lietadla dochádza ešte k dodatočnému znečisteniu, ktoré spôsobuje dodatočné rozrušenie prúdu. Medzi spôsoby znečistenia patrí dážď, námraza a hmyz. [12] Meteorologické podmienky môžu mať výrazný dopad na povrch krídla. Akákoľvek námraza na krídle má výrazný dopad na jeho výkonnosť. Svojou váhou a rozrušením laminárneho prúdenia znižuje vztlak a zvyšuje odpor. Na zemi je odstraňovanie znečistenia zabezpečené chemikáliami alebo horúcou vodou. Protí námraze počas letu slúži niekoľko zariadení, fungujúcich na princípe chemikálií, mechanizácie alebo vyhrievania. V závislosti od aerodynamiky a profilu krídla dážď spôsobuje na krídle: vytvorenie vlnového vodného filmu na povrchu, prekrytie medzery vodou pri odtekaní vody zo slotu na nábežnú hranu krídla a separáciu vodného filmu od povrchu krídla a následné odchýlenie prúdu vzduchu od profilu. Spôsoby, ktoré znižujú účinky vody a zrážok na krídlo, ako gély alebo nátery, nie sú dostatočne efektívne alebo praktické. [1] [12]

Najviac rozoznávaným problémom v oblasti znečistenia profilu krídla sú pozostatky z nárazu hmyzu o nábežnú hranu krídla. Rýchlosť lietadla spôsobí rozpad tela hmyzu, ktoré sa prichytí na povrch krídla. Tieto pozostatky vytvoria trojrozmernú štruktúru na povrchu, rozrušujúcu prúdenie. Tvorenie kontaminácie na krídle je možné eliminovať aktívnymi alebo pasívnymi spôsobmi. Aktívne spôsoby sú zamerané na prekrytie alebo očistenie nábežnej hrany počas letu, najznámejším spôsobom je použitie Krugerovej klapky. Pasívne spôsoby sú založené na chemických modifikáciách povrchu ako nátermi, elastickými povrchmi, rozpustnými filmami alebo tekutinami. Ich nevýhodou je

krátkodobá odolnosť alebo nedostatočná účinnosť látok na kontaminant. [13]

4.2.3. Aktívne ovládanie hraničnej vrstvy

Ďalším problémom laminárneho prúdenia je hraničná vrstva s nedostatkom energie, respektíve nízkou rýchlosťou. Jedným zo spôsobov je tangenciálne pridávanie vzduchu, ktoré môžeme odoberať z kompresora. Tým dodávame hraničnej vrstve energiu. Tento spôsob je pomerne náročný a v letectve nie je využívaný. Opačnou možnosťou je odsávanie oslabenej hraničnej vrstvy. Spomalený prúd vzduchu v spodných vrstvách je odsávaný, a tým je vytvorený priestor pre vyššie vrstvy s väčšou kinetickou energiou. Vďaka tomu je rýchlostný profil hraničnej vrstvy plnší a prúd je odolnejší voči rozručeniu, vytváraným povrchom krídla. Systém sa preukázal účinný pri vojenských lietadlách ale pre komerčné letectvo neekonomické. [3]

Koncept HLFC spája všetky doposiaľ získané poznatky z oblasti ovládania prúdenia okolo profilu krídla. Predovšetkým využíva aktívne spôsoby ovládania hraničnej vrstvy a konceptu NLF. Ako bolo spomenuté pri NLF, problémom sú predovšetkým rozruchy spôsobené šípovitostou krídla. Snaha udržať podobnú konštrukciu moderných dopravných lietadiel a cestovnú rýchlosť lietadla, aby bolo teoreticky možné technológiu aplikovať aj na staršie modely, vytvoril sa koncept, kde v prednej časti nábežnej hrany aplikuje LFC v podobe odsávania, čím rozruchy ALT a CFI odsajeme a prúd nachádzajúci sa ďalej po prúde, už ovládame iba pomocou NLF. Potrebné odsávanie je len od nábežnej hrany po desať až dvadsať percent hĺbky profilu. Takýmto spôsobom znižujeme komplexnosť systému odsávania a znižujeme konštrukčné obmedzenia. Pri správnej aplikácii je možné udržať laminárne prúdenie do viac ako 50% hrúbky profilu. [9]

4.2.4. Tvarovateľné krídlo za letu

Tvarovateľné krídla za letu sú známe už od začiatku letectva, kedy bratia Wrightovci použili ohybné krídelká pre ovládanie okolo pozdĺžnej osi. Využívanie kovových materiálov v letectve však znemožnilo použitie pretvárajúceho sa a ohybného krídla. V posledných rokoch sa viaceré spoločnosti vracajú späť k tejto myšlienke. Dôvodom je vyžitie moderných materiálov, ktoré sú dostatočne pevné a zároveň ohybné. [14]

Snahou je vytvoriť krídlo bez predelov, ktoré dokáže meniť svoj tvar a tak nahradiť konvenčnú mechanizáciu krídel. Ďalšou výhodou je menšia váha a zložitost takejto konštrukcie. NASA spolu s programom SBIR a spoločnosťou FlexSys vytvorila technológiu FlexFoil. Koncept bol otestovaný na lietadle Gulfstream III, vyobrazené na obrázku 6. [1] [15]



Obrázok 5: FlexFoil na pravom krídle Gulfstream III. Zdroj: [15].

4.2.5. Vrúbkovanie

Turbulentné prúdenie je význačné vyšším trecím odporom než laminárne prúdenie. Vedci v NASA vytvorili technológiu vrúbok, po anglicky Riblets, ktoré znižujú nepriaznivé interakcie prúdenia a majú kladný dopad na trecí odpor. Vrúbkovaný povrch je možné porovnať aj s povrchom žraločích šupín. Spôsobov ryhovania je viacero, najčastejší spôsob je v tvare trojuholníkov, ktoré sú vyrezané pozdĺžne s prúdením. Významnejšou spoločnosťou vyrábajúcou technológiu Riblets je spoločnosť 3M. [3]

5. Záver

Tvarový odpor bol prebádaný už v minulosti a jeho podiel na celkovom odpore je v súčasnosti nízky. Dôvodom dodatočného skúmania a optimalizácie geometrie profilu krídla je úprava tlakových polí tak, aby oddialili prechod prúdenia na turbulentné. Trecí odpor možno znižovať viacerými spôsobmi. V minulosti išlo predovšetkým o hladké povrchy a základné laminárne profily. Najmodernejšie spôsoby zníženia trecieho odporu, pomocou udržiavania laminárneho prúdenia, sa zameriavajú na znižovanie šípovitosti, zlepšenie tlakových polí na krídle, tlmenie rozručov v predných častiach profilu pomocou odsávania hraničnej vrstvy a použitie moderných kompozitných materiálov. Tieto pokroky prinášajú posun prechodu laminárneho prúdenia do turbulentného až za polovicu hĺbky profilu a bližšie k udržaniu plne laminárneho prúdenia okolo krídla.

V súčasnosti patrí k najviac skúmaným a pokročilým oblastiam vývoj hybridných laminárnych krídiel. Podľa získaných výsledkov vo veterných tuneloch majú veľký potenciál. Využitím najmodernejších materiálov a spôsobov ich spájania je ďalším cieľom výrobcov lietadiel aplikácia hybridných laminárnych krídiel na skutočných lietadlách. Ďalšou možnou oblasťou skúmania je aplikácia a odolnosť modernejších filmov pre zníženie znečisťovania nábežných hrán na letiacich laboratóriách. Koncept tvarovateľných ohybných krídiel nie je ešte dostatočne prebádaný. Je potrebné ďalej analyzovať jednotlivé koncepty a podrobiť ich testom vo veterných tuneloch. V prípade kladných výsledkov majú v budúcnosti potenciál odstrániť konvenčné spôsoby mechanizácie krídla.

Referencie

- [1] BUGAJ, M. 2015. *Aeromechanika 1 – Základy aerodynamiky*. 1. vyd. Bratislava: Dolis, 2015. 208 s. ISBN 978-80-970419-3-9.
- [2] DE GREGORIO, F. et al. 2015 ERICA tiltrotor airframe wake characterization. In *41st European Rotorcraft Forum 2015*. Munich, 2015. 11 s.
- [3] HOUGHTON, C. – CARPENTER P. 2003. *Aerodynamics for Engineering Students*. 5. vyd. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. 608 s. ISBN 978-00-80-49385-5.
- [4] LINHART, J. 2009. *Mechanika tekutin I*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009. 123 s. ISBN 978-80-7043-766-7.
- [5] JUNIPER, M. *Learn Fluid Mechanics*. University of Cambridge [online]. Dostupné na internete: <http://www.learnfluidmechanics.org/> (citované 2021-01-16).

- [6] Simscale. 2021. *What is the Reynolds Number?* Simscale [online], 2021. Dostupné na internete: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/numerics-background/what-is-the-reynolds-number/> (citované 2021-01-23).
- [7] GUDMUNDSSON, S. 2014. *General Aviation Aircraft Design: Chapter 8 – The Anatomy of the Airfoil*. Amsterdam: Elsevier, 2014. 235-297 s. ISBN 978-0-12-397308-5.
- [8] LIN, J. 2002. Review of research on low-profile vortex generators to control boundary layer separation. In *Progress in Aerospace Science*. ISSN 0376-0421, 2002, vol. 38, no. 4–5, s. 389-420.
- [9] KRISHNAN, K. et al. 2017. Review of hybrid laminar flow control systems. In *Progress in Aerospace Science*. ISSN 0376-0421, 2015, vol. 93, s. 24-52.
- [10] BECK, N et al. 2018. Drag Reduction by Laminar Flow Control. In *Energies*. 2015, vol. 11, no. 1: 252. <https://doi.org/10.3390/en11010252>
- [11] SAMPSON, B. 2018. *Airbus tests laminar flow wing*. Aerospace Testing International [online], 2018. Dostupné na internete: <https://www.aerospacetestinginternational.com/videos/airbus-tests-laminar-flow-wing.html> (citované 2021-04-28).
- [12] CAO, Y. et al. 2014. Effects of rainfall on aircraft aerodynamics. In *Progress in Aerospace Science*. ISSN 0376-0421, 2014, vol. 71, s. 85-127.
- [13] KOK, M. et al. 2015. Critical considerations in the mitigation of insect residue contamination on aircraft surfaces – A review. In *Progress in Aerospace Science*. ISSN 0376-0421, 2015, vol. 75, s. 1-14.
- [14] DIMINO, I. et al. 2016. Morphing Technologies: Adaptive Ailerons. In *Recent Progress in Some Aircraft Technologies*. IntechOpen [online], 2016. DOI: 10.5772/63645. Dostupné na internete: <https://www.intechopen.com/books/recent-progress-in-some-aircraft-technologies/morphing-technologies-adaptive-ailerons> (citované 2021-04-29).
- [15] AIR FORCE SBIR/STTR. 2015. *Flexible Wing Technology*. Youtube: Air Force SBIR/STTR [online], 2015. Dostupné na internete: <https://youtu.be/TfHUZ2C3HyA> (citované 2021-04-29).
- [16] Bugaj, M., Novák, A. 2010. *Všeobecné znalosti o lietadle: drak a systémy, elektrický systémy*. 1. vyd.-Žilina: Žilinská univerzita, 2004.-247 s.

Matej Sabo – narodený dňa 19.05.1999 v Trnave absolvoval v roku 2018 Gymnázium Jána Hollého v Trnave. Následne v roku 2018 nastúpil na Žilinskú univerzitu v Žiline v obore doprava, pričom sa zameriaval na št. program profesionálny pilot. Aktuálne študent danej univerzity.

INTERNATIONAL REGULATION OF AIR FREIGHT

MEDZINÁRODNOPRÁVNA ÚPRAVA LETECKEJ PREPRAVY

Adam Sitarčík
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
sitarcik1@stud.uniza.sk

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

Abstract

This article is focused on the issue of air freight, its development, importance and current status. The article defines general knowledge in the field of civil cargo air transport as history, current global events, current measures due to the pandemic of the spread of Covid-19 and the division of airlines according to business models. It also includes the periodic development of legislation in the field of air transport freight, global and European legislation, as well as air alliances and organizations in civil aviation. The article deals with contracts in the field of air freight transport such as transport contract and agent contract. Conclusion is focused on the importance of the today's study materials in the field of air freight and also declared that this article and the bachelor thesis could stand out as a supplementary material for the professional public, which will enable them to deepen their knowledge in the field of air freight.

Keywords

air freight, international law, civil aviation, agency agreement, contract of carriage, airlines, alliances

1. Úvod

Problematika leteckej dopravy sa už v začiatkoch letectva stala veľmi dôležitou súčasťou medzinárodných vzťahov. Zavedenie pravidiel do tejto oblasti prinieslo do súčasného diania vo svete významnú úlohu. Civilné letectvo prekročilo štátne hranice v prvej polovici minulého storočia a vďaka svojim charakteristikám sa stalo hlavným znakom medzinárodného obchodu a vzťahov. Preto je potrebné nájsť pramene jeho zákonov a iných právnych predpisov, najmä v medzinárodnom práve, ktorým sa budeme zaoberať. Zároveň je potrebné mať na pamäti, že vnútroštátne právne predpisy, najmä letecké zákony, sú z veľkej časti uplatniteľné aj na vnútroštátne podmienky v záujme medzinárodného zjednotenia a unifikácie.

V súčasnosti rastie dopyt po leteckej preprave tovaru najmä vďaka rýchlemu dodaniu, ktoré v dnešnej uponáhľanej dobe patrí medzi najdôležitejšie aspekty chodu celosvetovej ekonomiky, a preto sme sa v práci venovali aj modernej problematike leteckej nákladnej dopravy ako napríklad rozdeleniu a podrobnej špecifikácii celosvetových organizácií, ktoré sú zainteresované v civilnom letectve, taktiež sme riešili problém rozdelenia leteckých dopravcov podľa určenia ich produktov ako napríklad veľmi populárna služba z domu do domu, ktorú ponúkajú popredné celosvetové prepravné firmy ako Federal Express alebo DHL.

Obsahom článku je aj aktuálne študovanie informačných stránok rôznych spoločností a organizácií na podnet celosvetovej pandemickej situácie ohľadom šírenia vírusu Covid-19, ktorý paralyzoval celosvetovú ekonomiku vrátane civilnej leteckej dopravy. Cieľom tohto článku je aj zaktualizovanie pôvodných študijných materiálov, ktorých je v slovenskom

jazyku veľmi malé množstvo a ponúknuť čitateľom a budúcim študentom komplexný prehľad o leteckej nákladnej preprave.

2. Letecká nákladná doprava a jej špecifiká

Po úspešnom lete bratov Orvilla a Wilbura Wrightovcov 17. decembra 1903 sa letectvo začalo rozvíjať veľmi rýchlo [1]. V priebehu nasledujúcich rokov sa snažili výrobcovia nájsť praktické využitie lietadiel. Približne v rovnakom čase, keď sa začali vyrábať prvé komerčné nákladné vozidlá, sa tí, ktorí propagovali letectvo, usilovali o prepravu nákladu letecky. Počas svetových vojen mocnosti Osy a aj Spojenci stavali rýchlejšie a výkonnejšie lietadlá [1].

Za menej ako desať rokov exponenciálne vzrástla letecká technológia. Boli skonštruované motory, ktoré boli výkonnejšie, čo viedlo k väčším lietadlám, ktoré dokázali lietať na dlhšie vzdialenosti a mať väčšie MTOW. Napriek veľkým nádejam po vojne sa sektor leteckej nákladnej dopravy po celé desaťročia nerozvíjal podľa očakávaní a zostal veľmi malou časťou celkovej leteckej prepravy. Počas prvých piatich povojnových desaťročí to väčšina dopravcov považovala za druhoradú činnosť, hoci vždy existovali špecializované nákladné letecké spoločnosti.

Letecká doprava sa vyznačovala ako lukratívna a od 90. rokov ako pevný pilier priemyslu. Obrovskú obnovu a pomoc rastu v tomto sektore rozprúdili najmä expresné balíkové prepravné služby, ako napríklad známy FedEx alebo DHL, TNT a UPS [2]. Dostupnosť internetu v nasledujúcich rokoch prispela k zvýšeniu dopytu po leteckej nákladnej doprave. Väčšina leteckých spoločností teraz ponúka svojim zákazníkom stav letu v reálnom čase vrátane sledovania zásielok. Okrem toho sa znižuje aj byrokratické zaťaženie, ako napríklad elektronický

AWB, ktorý slúži na zníženie množstva papierovej dokumentácie sprevádzajúcej každú zásielku.

Jednou z najväčších oblastí leteckej nákladnej dopravy v tomto storočí je aj druh prepravy z domu do domu už spomínanými spoločnosťami ako napríklad DHL, UPS alebo FedEx. Napríklad posledný spomenutý prepravca Federal Express v roku 2013 prevádzkoval celkovo 257 široko trupových nákladných lietadiel (IATA WATS 2014), čo bol najväčší počet nákladných lietadiel vo flotile jedného dopravcu. Celkový objem tržieb za prepravu tovaru podľa štatistik ICAO sa odhaduje asi na 13% z celkových tržieb leteckých dopravcov [2].

Poskytovateľov leteckej nákladnej prepravy je možné rozdeliť podľa typu/ modelu danej leteckej spoločnosti vo formách:

- **Osobné letecké spoločnosti** – ich primárnou činnosťou je preprava osôb no využívajú na svojich linkách voľné kapacity nákladového priestoru tzv. „belly cargo“. Je to doplnkový zdroj príjmu. Napríklad Austrian Airlines, United atď.
- **Nákladné letecké spoločnosti** – ich modelom je činnosť pri ktorej špecializované letecké spoločnosti alebo dcérske podniky klasických leteckých spoločností využívajú špeciálne nákladné lietadlá, prípadne využitím voľnej kapacity u iných dopravcov a ich lietadiel pre prepravu osôb alebo na kombinovaných lietadlách, kde kapacita je rozdelená medzi cestujúcimi a nákladom. Taktiež sa špecializujú na individuálne zákazky, ktoré vyžadujú špeciálnu prípravu. Napríklad Lufthansa Cargo, Emirates Cargo, Antonov Airlines atď.
- **Zásielkové spoločnosti** – je činnosť pri ktorej špecializované letecké spoločnosti, ktoré sa sústreďujú na prepravu hodnotných alebo dôležitých zásielok z domu do domu s časovo garantovaným doručením a možnosťou sledovať zásielku on-line cez web dopravcu. Využívajú dostupné možnosti prepravy aj inou formou ako leteckou (napríklad vlastné kuriérske dodávky až k zákazníkovi domov). Zásielková preprava predstavuje hlavný zdroj príjmu týchto dopravcov napríklad FedEx, DHL atď.

Pri preprave nadrozmerného a individuálneho tovaru, spomínaného pri nákladných leteckých spoločnostiach, sa využívajú upravené a špecializované dopravné lietadlá. Ich úlohou je už spomínaná preprava nadrozmerného nákladu a to si vyžaduje množstvo špeciálnych úprav. Ide väčšinou o hornoplošníky, stroje majú takisto veľký trup a viacero kolies, vďaka ktorým dokážu vzlietnuť a pristáť aj na neupravených plochách. Taktiež ich vodorovné chvostové plochy bývajú umiestnené na hornej časti zvislej chvostovej plochy, a tak môže byť náklad vykladaný aj nakladaný priamo z lietadiel bez väčších problémov. Medzi najznámejšie a najväčšie transportné lietadlá patria stroje z dielne Antonov, ako napríklad Ruslan alebo jedinečná Mrija [3]. Taktiež aj niektoré dopravné lietadlá bývajú prerábané na cargo ako napríklad významný Boeing 747. Súčasnú lietadlá pre nákladnú leteckú dopravu sú moderné technické stroje, využívajúce najnovšie poznatky vedy a techniky, vrátane komplexných počítačových systémov a komunikačnej techniky. Pre splnenie požiadaviek pre bezpečnosť, plynulosť a spoľahlivosť prepravy tovaru z počiatočnej do cieľovej destinácie je využívaný letecký dopravný reťazec. Letecký dopravný reťazec je tvorený objektom prepravy (lietadlom), leteckou dopravnou cestou (vzdušný priestor),

dopravnými terminálmi (letisko) a zložkami zabezpečenia letu (letové prevádzkové služby) [4].

Letecká doprava patrí medzi najdrahšie typy prepravy tovaru [16]. Na prepravu je preto vhodný taký tovar, ktorého hodnota je čo najvyššia, aby sa oplatilo prepravovať letecky. Z tohto hľadiska sa letecká doprava oplatí napríklad pre tovar vyžadujúci expresnú a rýchlu prepravu z dôvodu časového upotrebenia (pošta, noviny, časopisy a pod.). Taktiež sem patrí aj tovar pre pomoc v núdzi (krv, lieky, v tejto dobe najmä zdravotnícky materiál a pod.). Pre letecké spoločnosti je to veľmi lukratívne lebo ide zväčša o pravidelné zásielky. Ďalej je veľmi prínosným pilierom pre letecké spoločnosti aj preprava tovaru, ktorý rýchlo stráca na kvalite, a tým aj na cene (jedlo, zelenina, ovocie, kvety, živé zvieratá a pod.). Pri tomto tovare je rozhodujúcim faktorom rýchlosť pri minimalizácii ekonomických strát, ktoré by mohli vzniknúť pri použití iného druhu dopravy. V neposlednom rade sa nesmie zabudnúť ani na tovar s vysokou hodnotou (luxusné automobily, šperky, umelecké predmety a pod.), ktoré vyžadujú rýchlosť a minimalizáciu poškodenia ako aj elimináciu odcudzenia.

Pri preprave rôznych druhov tovaru, ako sú už spomínané napríklad živé zvieratá alebo veľké a objemné zásielky, sa podmienky prepravy určujú príručkou IATA. Pri preprave živých zvierat sa postupuje podľa príručky LAR ktorá obsahuje napríklad informácie o špeciálnych klietkach v nákladnom priestore ako aj podmienky o starostlivosť alebo aj vylúčenie prepravy, najmä exotických zvierat, ktoré sú nebezpečné. Taktiež nebezpečným tovarom nemusia byť len exotické zvieratá, ale napríklad aj žieraviny, výbušniny, rádioaktívne látky a podobný tovar, ktorý je uvedený v príručke DGR. Táto príručka, podobne ako LAR je tvorená IATA-ou a uvádza podmienky na prepravu nebezpečného tovaru ako aj jeho balenie, rozdelenie, charakteristiku, označovanie a rôzne iné aspekty dôležité pre leteckú prepravu. Medzi ďalšie druhy zvláštnych tovarov môžeme zaradiť napríklad krehký tovar, ktorý je povinné označiť ako „Fragile“, a musí byť zabalený v dvoch obaloch. Veľmi citlivým tovarom je aj prevoz ľudských pozostatkov, ktorý musí mať svoj vlastný sprievodný list (pas pre mŕtvolu), kde sa uvádzajú osobné údaje nebohého spolu s dňom a príčinou smrti. Telá, prípadne pozostatky nebohých sa prepravujú v špeciálne uložených truhlách v samostatnom priestore uzavretým pretlakom, kde je možnosť dezinfekcie priestoru po uskutočnení prepravy. Jediným tovarom, ktorý nepodlieha colnej kontrole a zväčša sa vykonáva bezplatne je preprava ľudských orgánov určených na transplantáciu. Pri tomto type zásielky sa nevystavuje ani AWB, majú len špeciálne potvrdenie o prevzatí a musia byť označené v chladiacich kontajneroch určených na tento druh prepravy.

Rozvoj, zjednodušenie a najmä urýchlenie odbavovania zásielok v leteckej nákladnej doprave viedlo ku paletizácii a kontajnerizácii prepravovaného tovaru. Spoluprácou medzi Medzinárodnou organizáciou pre normalizáciu (ISO) a IATA sa dosiahlo toho, že letecké nákladné kontajnery sa vyznačujú nízkou hmotnosťou (hliník a špeciálne plastické hmoty), odolnosťou voči poškodeniu a deformáciám ako aj normalizovanými postupmi výroby (zanedbateľné odchýlky vo výrobe). Vo všeobecnosti sa letecký kontajner berie ako kompaktná schránka ktorá má pevné steny a tvorí kompletnú jednotku pre prepravu väčšieho množstva kusových zásielok. Výsledkom tohto procesu je radikálne zníženie taríf. Pre zjednodušenie prepravy tovaru sa taktiež používajú letecké

palety. Je to plošina na ktorú sa ukladajú jednotlivé zásielky, ktoré tvoria celok ako jednu nákladovú jednotku a zväčša je vyrobená z kompaktného a trvácneho materiálu. Paleta na rozdiel od kontajnera nemá steny a tovar sa upevňuje pomocou sietí. Medzi špeciálne kontajnery patria aj takzvané Unit Load Devices (ULD). Je to unifikovaná nakladacia jednotka, ktorá zahŕňa letecké aj neletecké jednotky. Rozdiel medzi leteckým ULD a neleteckým ULD je že, letecké sú súčasťou lietadla a môžu byť prenájaté zosielateľom kvôli nakladacím účelom, ale neletecké nie sú viazané na rozmery a konštrukčné limity lietadla, ale musia byť registrované IATA-ou a taktiež musia byť vo vlastníctve agenta alebo zosielateľa [2]. Medzi najväčšie výhody leteckých kontajnerov a paliet nepochybne patria už spomenuté nižšie náklady na prepravu (jednotlivé kusy sa prepravujú ako zásielka), úspora na balnom a obaloch, lepšie a praktickejšie využitie lietadlového priestoru ako aj jednoduchšia a bezpečnejšia manipulácia pre personál. Ďalšou výhodou je aj možnosť prípravy celej zásielky a taktiež colného odbavenia priamo v priestoroch odosielateľa. Pri využití vyššie spomenutých výhod prepravy tovaru pomocou kontajnerov a paliet sa jednoduchšie aplikuje kombinovaná doprava a taktiež sa zrýchli aj celkový obeh tovaru čo vie pre spoločnosti priniesť aj viac zákazníkov.

Podľa Medzinárodného združenia leteckých dopravcov IATA však koronavírus ochromil globálne letectvo natoľko, že dopyt po lietaní sa bude spamätávať prinajmenšom do roku 2024. Z jej analýz vyplýva, že výnosy leteckých spoločností v roku 2020 klesli o vyše polovicu oproti roku 2019.

„Minulý rok bol katastrofou. Nedá sa to inak opísať. Obnova letnej sezóny na severnej pologuli sa na jeseň zastavilo a situácia sa na konci prázdninovej sezóny dramaticky zhoršila, pretože boli zavedené prísnejšie cestovné obmedzenia tvárou v tvár novým ohniskám a novými mutáciami COVID-19,“ uviedol generálny riaditeľ IATA Alexandre de Juniac [10].

Aj keď globálne letectvo zažilo veľké ochromenie, letecká nákladná doprava sa zhoršila medziročne iba o 0.5% tonokilometrov. Na začiatku roka 2020 lockdowny a iné kontrolné opatrenia viedli k významným prerušeniam dodávateľských reťazcov a všeobecný pokles hospodárskej činnosti mal vplyv aj na globálny obchod a letecký náklad. Koncom mája roku 2020 sa ako tak obnovila preprava tovaru a aj celosvetový obchod avšak na jeseň toho istého roku sa opäť začal rapídnejšie šíriť vírus Covid-19 a krajiny museli opätovne zaviesť lockdowny a tým sa znova zhoršil celosvetový obchod [11].

3. Medzinárodné organizácie v nákladnej leteckej doprave

Celosvetový systém leteckej nákladnej dopravy by nefungoval bez širokého zázemia medzinárodných spoluprác a stykov. Medzinárodné organizácie v oblasti nákladnej leteckej dopravy hrajú veľmi dôležitú úlohu pri rozvoji a tvorbe pravidiel v oblasti letectva a leteckých činností vo vzdušnom priestore, a tiež je ich hlavnou úlohou štandardizovať a unifikovať medzinárodnú leteckú nákladnú dopravu.

Medzinárodnými vládnyimi organizáciami sú združenia zvrchovaných štátov s organizačnou štruktúrou (ako napríklad vymedzenými podmienkami členstva, stálymi orgánmi s určitou právomocou a predpísaným riadením) na dosahovanie

spoločných cieľov uzavretej medzi najmenej tromi štátmi, ktoré majú prvky medzinárodnoprávnej subjektivity, relatívne stály charakter, disponujú vlastnými orgánmi a usilujú sa o dosiahnutie cieľov, ktoré sú vytýčené členskými štátmi v zakladajúcej listine. Typickou a najdôležitejšou medzinárodnou vládnu organizáciou v oblasti civilného letectva, je Medzinárodná organizácia pre civilne letectvo (ICAO), ktorá v tejto dobe združuje viac ako 190 štátov všetkých kontinentov [5].

Na druhej strane medzinárodnými nevládnymi organizáciami sú združenia právnických, prípadne fyzických osôb rôznych štátov, ktoré vznikli na základe zmluvy, kedy subjekty majú občianskoprávnu subjektivitu. Typický je pre nich relatívne stály charakter, disponujú vlastnými orgánmi a usilujú sa o dosiahnutie vlastného cieľa, ktorý je vytýčený ich členmi v zakladajúcej listine. Klasickým príkladom nevládnej organizácie v oblasti civilného letectva je Medzinárodné združenie leteckých dopravcov (IATA) ako aj Medzinárodná rada letísk, Medzinárodná federácia zosielateľských združení (FIATA) a ďalšie.

V oblasti nákladnej dopravy sú najdôležitejšie organizácie už spomínané ICAO, ktoré napríklad formulovalo veľmi dôležité slobody vzduchu vďaka ktorým letecké spoločnosti majú oprávnenie vstúpiť a pristáť vo vzdušnom priestore iných krajín [13]. Ďalšou dôležitou organizáciou v medzinárodnej leteckej doprave je Medzinárodná asociácia leteckých dopravcov (IATA), ktorá vyvinula obchodné štandardy pre letecký priemysel a pri procese prepravy je prítomná prakticky všade (od formátu nákladných listov až po pravidlá prepravy živých zvierat). Taktiež veľmi dôležitou organizáciou je aj Medzinárodná federácia zosielateľských združení (FIATA), ktorej hlavnou úlohou je združovať členov po celom svete. Je najväčšou mimovládnu organizáciou.

Letecký priemysel súčasne prešiel veľkými zmenami a bol svedkom vytvárania aliancií a fúzií medzi spoločnosťami s cieľom posilniť ich prítomnosť vo vysoko konkurenčnom trhovom prostredí. V leteckej doprave dominovali aliancie medzi leteckými spoločnosťami a prostredníctvom mnohých obchodných dohôd a pomáhania si navzájom sa nové prvky globálneho fenoménu v doprave rozvíjajú pomerne rýchlo.

Každá aliancia je zložená z niekoľkých významných leteckých spoločností, ktoré prostredníctvom väčších sietí pokrývajú rôzne geografické oblasti po celom svete. Títo leteckí dopravcovia sú tak schopní kombinovať rôzne siete a rozšíriť svoj dosah na väčšinu sveta. Taktiež cargo aliancie využívajú najmä veľké nákladné lietadlá určené a špeciálne upravené na prenos tovaru [6].

Medzi najdôležitejšie aliancie v leteckej nákladnej doprave patria:

- SkyTeam, založená v roku 2000 a je najväčšia cargo aliancia s 12 členmi [12],
- WOW Alliance, jediný priamy konkurent, má však len dvoch členov.

Jednou z najdôležitejších výhod aliancií je pokles cien prepravy tovaru. Z pohľadu aliancií zameraných na prepravu cestujúcich ako je Star alliance, Oneworld alebo SkyTeam je možné uviesť, že veľký počet cestujúcich na týchto letoch umožňuje efektívne

využitie lietadla, čím sa znižujú náklady na cestu cestujúcim ako aj dopravcom.

Ďalšou výhodou bolo poskytnutie cestujúcim a dopravcom širšie a flexibilnejšie letové poriadky, ktoré vedú k skráteniu času cesty. Aliancie sa usilujú zlepšiť normy kvality pre osobnú ako aj nákladnú dopravu a uplatňovať štandardy vo všetkých fázach vrátane predaja leteniek, výberu destinácií, postupov pri batožine, salónikov, komfort cestujúcich, sťažnosti cestujúcich a poskytovanie ďalších potrebných služieb. Hlavne z pohľadu prepravy tovaru formou doklady. Napriek všetkým spomenutým hlavným výhodám boli aliancie v mnohých bodoch kritizované počnúc napríklad od toho, že nemusia rešpektovať protimonopolné pravidlá. Postavenie aliancií môže viesť k eliminácii niektorých iných, hlavne menších leteckých spoločností z trhu, a to by malo za následok porušenie noriem spravodlivej konkurencie.

Aliancie vďaka svojej kontrole nad mnohými kľúčovými bodmi a svojimi konkurenčnými a marketingovými stratégiami, by mohli dopomôcť už ku spomínanému krachu niektorých spoločností, najmä tým, ktoré musia konkurovať v oblasti prepravy cestujúcich nízko nákladovými spoločnosťami a prepravou tovaru.

Aliancie v posledných rokoch dramaticky vzrástli a ich partnerstvá sa stávajú čoraz komplexnejšími. Napriek všetkým ich vlastnostiam a výhodám v priemysle leteckej dopravy, treba vyriešiť niektoré nedostatky. Preto je podľa ICAO potrebné ďalšie štúdium s cieľom maximalizovať výhody a minimalizovať nepriaznivé účinky týchto aliancií.

4. Medzinárodnoprávna úprava zodpovednosti v leteckej preprave

V oblasti leteckej prepravy obsahujú medzinárodné dohody rozsiahle jednotné predpisy. Dôvodom tohto rozhodnutia je povaha medzinárodnej leteckej dopravy. Od začiatku jej vzniku bola určená na jednoduché prekročenie štátnych hraníc, a preto sa rýchlo stala medzinárodnou. Z dôvodu nejednotnosti štátnych predpisov a následného zvýšenia možnosti konfliktov nestačili národné predpisy. Preto sa na medzinárodnej úrovni začali rokovania o zjednotení určitých pravidiel leteckej dopravy a o ich vyjadrení vo forme medzinárodnej jednotnej dohody. Vzhľadom na niektoré z charakteristík leteckej dopravy (zvyčajne medzinárodného charakteru, rýchlosti, poskytovania vzájomných služieb atď.) si letecká doprava vyžaduje medzinárodnú spoluprácu vo viacerých oblastiach.

Ide predovšetkým o:

- oblasť dopravná – politickú (prerokovanie vzájomných podmienok leteckej prevádzky medzi príslušnými štátmi),
- oblasť obchodná – prepravnú (vzájomné zmluvy medzi dopravcom a jeho užívateľmi),
- oblasť technická – prevádzkovú (spôsobilosť leteckej techniky, riadenie letovej prevádzky atď.),
- oblasť bezpečnostnú (poskytovanie pomoci v nebezpečenstve a pri nehodách, vyšetrovanie leteckých nehôd),

- oblasť právnych úprav (ide o medzinárodnú právnu úpravu všetkých vyššie uvedených otázok, vrátane štandardizácie postupov, výmeny a aplikácie skúseností).

V oblasti politiky sa rozvíjanie medzinárodných dohôd formovalo už pred rokom 1919 vo forme samostatných dohôd medzi krajinami. Napríklad nemecké a francúzske zmluvy, ktoré posilňujú právo štátov disponovať so svojimi územiami [1].

Prvým multilaterálnym medzinárodným právnym dokumentom, ktorý položil základy medzinárodného leteckého práva, bol Parížsky dohovor z roku 1919. Základnou myšlienkou dokumentu je princíp suverenity nad vzdušným priestorom. Napríklad Článok 1 Parížskeho dohovoru stanovuje, že každá krajina má úplnú a výlučnú zhovoranosť nad vzdušným priestorom na svojom území. V Článku 2 sa zase spomína právo zahraničných lietadiel pokojne lietať nad územím iných krajín. S nárastom leteckej dopravy v 20. rokoch minulého storočia sa čoraz viac stáva dôležitou otázkou zodpovednosť leteckých dopravcov za cestujúcich a prepravovaného nákladu. Preto sa na povrch dostali otázky týkajúce sa súkromnoprávneho vzťahu medzi týmito subjektmi. Reakciou na to bolo podpísanie Varšavského dohovoru z 12. októbra 1929. Postupným zlepšovaním bezpečnosti civilného letectva sa zlepšila aj bezpečnosť medzinárodných leteckých spoločností, a tak začalo hrať medzinárodné letectvo veľmi dôležitú úlohu v medzinárodných vzťahoch. Rozširovanie medzinárodnej siete leteckých spoločností musí vyriešiť mnoho praktických problémov, ako je určenie štátnej príslušnosti lietadla, problém letovej frekvencie a obchodné podmienky prepravy cestujúcich, nákladu a mnoho iného. Letecká nákladná doprava zažívala najväčší pokrok vo vývoji z pomedzi všetkých spôsobov dopravy po celom svete.

V súčasnosti je najdôležitejším dohovorom v medzinárodnej leteckej preprave Montrealský dohovor o zjednotení niektorých pravidiel pre medzinárodnú leteckú dopravu z roku 1999, ktorý nahradil takzvaný Varšavský systém. Základom varšavského systému je Varšavský dohovor, ktorý bol doplnený Haagskym protokolom, Guadalajarským dohovorom, Guatemalským protokolom a Montrealskými protokolmi.

5. Prepravná zmluva

Ako prepravná zmluva v medzinárodnej leteckej preprave slúži letecký nákladný list na prepravu nákladu a tovaru. Celosvetovo je známy aj ako airwaybill (AWB). Jeho hlavnou úlohou je sprevádzať tovar prepravovaný medzinárodným leteckým kuriérom, aby poskytol podrobné informácie o zásielke a umožnil jej sledovanie. Má viac kópií, aby ho mohla každá strana zúčastnená na zásielke zdokumentovať. Taktiež slúži ako príjem tovaru leteckou spoločnosťou (dopravcom), ako aj prepravná zmluva medzi zasielateľom a dopravcom.

AWB sa stáva vymáhateľným dokumentom, keď prepravca (alebo zástupca prepravcu) aj dopravca (alebo agent dopravcu) obaja podpíšu dokument. Najdôležitejšími údajmi sú meno a adresu odosielateľa, meno a adresu príjemcu, trojpísmenový kód letiska pôvodu, trojpísmenový kód letiska určenia, deklarovaná hodnota zásielky pre colné úrady, počet kusov, brutto hmotnosť, popis tovaru a akékoľvek špeciálne pokyny (napríklad preprava nebezpečného materiálu alebo živých zvierat). Taktiež obsahuje aj zmluvné podmienky, ktoré popisujú

zmluvné podmienky dopravcu, ako sú limity zodpovednosti a postupy pri reklamáciách, popis tovaru a príslušné poplatky.

Medzinárodné združenie pre leteckú dopravu (IATA) navrhuje a distribuuje letecké nákladné listy. Existujú dva typy AWB - špecifické pre leteckú spoločnosť a neutrálne. Špecifický AWB musí obsahovať meno dopravcu, adresu základne, logo a číslo leteckého nákladného listu.

Neutrálne letecké nákladné listy majú rovnaké rozloženie a formát ako AWB leteckých spoločností len jednoducho nie sú vopred vypísané. S mnohostranným elektronickým nákladným listom s rozlíšením 672 už nie sú potrebné papierové letecké nákladné listy. Názov e-AWB sa používa od roku 2010 a od roku 2019 sa stal predvolenou zmluvou pre všetky zásielky leteckej nákladnej dopravy na povolených obchodných linkách [7].

V leteckej nákladnej doprave sa vyskytuje aj takzvaný „cargo manifest“. Veľmi často sa zamieňa za klasický nákladný list lebo obsahujú podobné informácie. Nákladný list vo všeobecnosti slúži ako právny nástroj zameraný na dokumentovanie informácií ako je napríklad vlastníctvo, zatiaľ čo manifest sa často viac zaoberá fyzickými aspektmi nákladu, ako sú hmotnosť a veľkosť.

V leteckej nákladnej preprave sa často vyskytuje aj MWB (Master Air Waybill) a najčastejšie sa spája s konsolidovanou leteckou prepravou. Letecká konsolidácia je zhromažďovanie jednotlivých zásielok a odosielanie na jeden letecký nákladný list MWB. Pre zhromažďovanie zásielok je určený konsolidátor (letecký zasielateľ), ktorý týmto spôsobom vybavovania zásielok využíva nižšie tarifné náklady. Konsolidátor taktiež preberá zodpovednosť za prepravovaný tovar. Pre efektívne fungovanie konsolidácie je potrebné vhodné technické zabezpečenie, certifikovaný personál, prostriedky na manipuláciu, skladovacie objekty a priestory a najmä kvalitnú komunikáciu medzi konsolidátorom a rozbaľovacím agentom, ktorý sa na mieste určenia postará a rozdelí konsolidovanú zásielku na oddelené zásielky a postará sa o doručenie adresátovi. Jeho úlohou je taktiež vystavovanie HWB (House Air Waybill), ktorý slúži na doručenie jednotlivých zásielok do cieľových destinácií.

V slovenskom obchodnom zákonníku je preprava vecí a tovaru definovaná v Hlave II ako Diel XIV „Zmluva o preprave vecí“. Základné ustanovenie definuje zmluvu o preprave vecí ako „Zmluvu, v ktorej sa dopravca zaväzuje odosielateľovi, že prepraví vec (zásielku) z určitého miesta (miesto odoslania) do určitého iného miesta (miesto určenia), a odosielateľ sa zaväzuje zaplatiť mu odplatu (prepravnú)“ [15].

6. Agentská zmluva

Agentská zmluva, tiež označovaná aj ako Agentúrny vzťah, je vzťah medzi jednou stranou („zastúpeným“), ktorý splnomocňuje inú stranu („agenta“) na účasť tretích osôb v právnych vzťahoch. Agentu si nemožno zamieňať s prepravcom, ktorý je poverený poskytovaním služieb v mene príkazcu alebo strana, ktorá vystupuje v administratívnej úlohe medzi príkazcom a treťou stranou. Tento vzťah skôr umožňuje agentovi vytvárať právne vzťahy alebo zastupovania v mene zastúpeného. Existuje niekoľko spôsobov, ako môže vzniknúť agentúrny vzťah, a to zvyčajne ovplyvní právny vzťah medzi stranami. Môže vzniknúť z dohody, zo zákona alebo ratifikáciou.

Agentúrny vzťah môže existovať na základe výslovnej alebo implicitnej dohody, v ktorej zástupca súhlasí, že bude konať v mene zastúpeného. Agentúra na základe výslovnej dohody vyžaduje, aby príkazca výslovne vymenoval agenta. Môže to byť písomne alebo ústnou dohodou. Dohoda zvyčajne poskytne podrobné vysvetlenie rozsahu zastúpenia. Väčšinou obsahuje na čo má agent oprávnenie urobiť v mene príkazcu, kde agent môže také činy vykonávať a v akom časovom rámci musí agent tieto úkony vykonať. Agentúrne vzťahy, ktoré vychádzajú zo zákona, sa zvyčajne rozvíjajú, pretože pre agenta existuje určitá potreba ochrany záujmov alebo majetku splnomocniteľa.

Aby vznikol vzťah z nevyhnutnosti, musia okolnosti spĺňať určité podmienky. Napríklad agentúrny vzťah môže byť nevyhnutný, ak agent nemohol komunikovať s príkazcom, konanie, ktoré agent vykonal, bolo nevyhnutné v prospech zastúpeného, bol to rozumný a obozretný postup a agent konal v skutočnom záujme dotknutých strán. Napríklad agent môže vykonať úkon, ktorý je mimo rámca právomoci dohody. Spravidla by to príkazcu neviazalo. Ak však agent koná a príkazca sa neskôr rozhodne „ratifikovať“ kroky agenta, bude sa to považovať za oprávnenie (Ratifikácia jednoducho znamená udelenie spätného súhlasu s aktom).

Prvoradou povinnosťou zástupcu je vykonávať obchodnú činnosť, ktorou sa zaviazal vykonávať v zastúpení splnomocniteľa. Ak sú splnomocnení zástupcovia, musia sa riadiť pokynmi príkazcu. Vzťah, ktorý sa vytvorí na základe zmluvy o zastúpení, bude podrobne obsahovať povinnosti a práva každej strany. Ak agentúrny vzťah nevznikne na základe dohody medzi zmluvnými stranami, zodpovednosť bude závisieť čisto len od správania samotného agenta. Ide vlastne o fiduciárny vzťah. Z vyššie spomenutého vyplýva, že vzťah je založený na dôvere dvoch alebo viacerých strán.

V medzinárodnej nákladnej leteckej preprave je najznámejšia tzv. nákladná agentská zmluva (CAA), ktorú využívajú členovia IATA [8]. Z toho vyplýva, že agent a zastúpený majú niekoľko konkrétnych povinností. Agent musí konať vždy v „najlepšom záujme“ príkazcu; uprednostníť svoje záujmy pred záujmami príkazcu a pokiaľ je to možné, musí sa vyhnúť konfliktu záujmov, nesmie získať akýkoľvek zisk z agentúrneho vzťahu bez informovaného súhlasu príkazcu, zverejniť akékoľvek dôverné informácie o príkazcovi, pokiaľ to nie je oprávnené inak a zneužiť akékoľvek peniaze alebo majetok príkazcu ako agent.

Ak zástupca poruší povinnosť, môže mať príkazca voči agentovi nárok na náhradu akýchkoľvek strát alebo škôd, ktoré utrpeli v dôsledku porušenia agenta. V zmluve o zastúpení môže byť stanovené, ako sa vzťah skončí. Ak zmluva o zastúpení neobsahuje výslovne ustanovenie o ukončení, obvykle sa nepredpokladá, že vzťah bude trvať navždy. Príkazca alebo agent môžu skôr ukončiť vzťah na základe primeraného oznámenia. Ak k tomu dôjde, druhá strana bude mať stále možnosť požadovať od strany, ktorá sa vzdala zmluvy, náhradu škody za porušenie zmluvy.

Pri obchodných vzťahoch, najmä celosvetového pôsobenia sa veľmi často používajú takzvané Incoterms (International Commercial Terms) alebo po slovensky medzinárodné obchodné podmienky. Incotermsy sú súborom pravidiel a podmienok, ktoré vydáva Medzinárodná obchodná komora (ICC). Tieto pravidlá upravujú styk medzi dodávateľom a odberateľom na medzinárodnej, ale aj domácej úrovni. Prvýkrát vydala Medzinárodná obchodná komora tento súbor

štandardných obchodných podmienok v roku 1936. Odvtedy sa tieto zmluvné štandardy neustále aktualizujú vzhľadom na meniace sa ekonomické prostredie. Doteraz bola platná aktualizácia z roku 2010, no minulý rok v januári vyšla najnovšia úprava dodacích podmienok [9]. Incoterms teda definujú zodpovednosť kupujúceho aj predávajúceho, čo sa týka nákladov, prerozdelenia rizík, zodpovednosti za poistenie nákladu a dodržiavania predpisov. V zmluvách o predaji tovaru sa často využívajú odkazy na niektoré pravidlo Incoterms 2020. Takto sú zmluvne jasne definované povinnosti zmluvných strán týkajúce sa otázok, ako sú riziko, nebezpečenstvo poškodenia tovaru, náklady a zabezpečenie prepravy a colného prerokovania tovaru. Obchodníci tak znižujú svoje riziko vzniku právnych komplikácií a nedorozumení v prípade medzinárodnej, ale aj domácej prepravy tovaru.

7. Záver

Práca sa v prvej časti zaoberala vývojom a špecifikáciou leteckej nákladnej dopravy, ktorú sme sa snažili podrobne popísať s cieľom poskytnutia systematického materiálu pre uvedenie čitateľa do problematiky leteckej nákladnej dopravy a jej celosvetového pôsobenia. Na základe dostupných informácií sme uviedli aj rozdelenie leteckých dopravcov podľa ich zamerania prepravy tovaru ako aj praktický rozdiel medzi zásielkovými spoločnosťami ako napríklad Federal Express a klasickými aerolíniami typu Emirates, čo dá čitateľovi lepší podnet na porozumenie danej problematiky. Taktiež sme zahrnuli aj obmedzenia spôsobené pandemiou korónového vírusu Covid-19, ktorá postihla letecký priemysel ako celok.

V druhej časti tejto práce sme sa venovali organizáciám, ktoré sú najviac zainteresované v leteckej nákladnej doprave. Informácie ako aj rôzne štatistiky sme získavali z oficiálnych stránok a aktuálnych učebníc, čo znamená že táto práca je najaktuálnejšia z pomedzi dostupných dokumentov v slovenskom jazyku k našťudovaniu problematiky leteckej nákladnej dopravy a to bolo aj jedným z cieľov tejto práce, aby budúci študenti a aj čitatelia mali aktuálne informácie v slovenskom jazyku.

Taktiež dôležitým pilierom súčasnej problematiky leteckej nákladnej dopravy sú aj aliancie leteckých spoločností, ktoré sme v práci študovali a rozdelili podľa aktuálnych informácií do kategórií podľa určenia a taktiež vymedzili ich výhody a aj nevýhody.

Historický vývoj a priebeh rozvoja civilného letectva, spolu s rozvíjaním nákladnej dopravy sme riešili v tretej kapitole. Od prvých dohôd medzi nemeckom a francúzskom o prelietanie hraníc z pred roku 1919 až po nariadenia EP ktoré definujú novodobé problémy ako poistenie alebo zabezpečenie prepravovaného tovaru. V posledných dvoch kapitolách sme sa venovali známemu airwaybillu, ale aj agentskej zmluve, ktoré sme sa snažili vysvetliť tak, aby čitateľ ktorý sa nepohybuje v leteckom svete porozumel a následne pridaním teoretických znalostí z oblasti leteckého priemyslu pochopil súvislosti aj Cargo Agency Agreement od IATA.

Jedinečnosť tejto práce vytvorenej na základe novodobých poznatkov a informácií čerpaných hlavne z oficiálnych stránok organizácií, aktuálnych knižných zdrojov, konzultáciami s pilotmi z praxe a aj cennými radami od našich vyučujúcich nám poskytla možnosť vytvoriť dielo, ktoré dúfame pomôže budúcim

študentom a čitateľom porozumieť nákladnej leteckej doprave a jej výhodám a flexibilitosti prepravy tovaru po celom svete, kategorizáciám leteckých spoločností, alianciám a aj histórií.

Referencie

- [1] CHAMAGNE, R.: The art of air war. Sceaux, 2007. 217s. ISBN 978-2-915960-21-1
- [2] PRUŠA J. a kol.: Svet leteckej dopravy. 2.vyd. Praha, 2015. 647s. ISBN 978-80-260-8309-2
- [3] PAPRČKA M. a kol.: Lietadlá na českom a slovenskom nebi. 1. vyd. Banská Bystrica, 2016. 118s. ISBN 978-80-8144-105-9
- [4] BÍNA L. a kol.: Provozování letecké dopravy a logistika. 1. vyd. Brno 2014. 311s. ISBN 978-80-7402-855-7
- [5] NOVÁK A.-SEDLÁČKOVÁ NOVÁK A.: Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilina, 2010. 129s. ISBN 978-80-554-0300-7
- [6] MUSIL L.: Encyklopedie dopravních letadel. 1.vyd. Praha 2016. 463s. ISBN 978-80-87866-25-2
- [7] e-AWB. Dostupné na internete: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/e/eawb/>
- [8] Cargo Agency Agreement. Dostupné na internete: <https://www.iata.org/contentassets/bfacf03f8e914960898e262df2777352/cargo-agency-agreement-eng.pdf>
- [9] Incoterms 2020 [online]. Dostupné na internete: <https://www.cdservices.sk/colne/incoterms-2020/>
- [10] IATA 2020 statistics Dostupné na internete: <https://www.iata.org/en/pressroom/pr/2021-02-03-02/>
- [11] IATA 2020 air freight statistics Dostupné na internete: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/air-freight-monthly-analysis---december-2020/>
- [12] SkyTeam Cargo history [online]. Dostupné na internete: <https://www.skyteam.com/en/cargo/about/History/>
- [13] Freedoms of the air [online]. Dostupné na internete: <https://www.icao.int/pages/freedomsair.aspx>
- [14] Citácia textu z Obchodného zákonníka SR [online]. Dostupné na internete: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/1991-513>
- [15] MAJERČÁK J. a ko.l.: Dopravná a spojová sústava. Bratislava DOLIS 2015. 296s. ISBN 978-80-8181-001-5

DESIGN OF LUBRICATION SYSTEM, DESIGN OF MOTOR BED, SELECTING OF PROPELLER FOR AIRCRAFT PISTON ENGINE

NÁVRH MAZACEJ SÚSTAVY, NÁVRH MOTOROVÉHO LÔŽKA, VÝBER VRTULE PRE LIETADLOVÝ PĽESTOVÝ MOTOR

Michal Suk

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

Jozef Čerňan

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

Abstract

I will briefly address the three orientations of my paper in this scientific article. I will not go into details in the article. In the first part I will briefly describe the design procedure of a piston engine lubrication system, the requirements that a lubrication system should meet with respect to different types of piston engines and their focus, elements of the lubrication system and the properties of oils as lubricating fluids. In the next part I will describe the types and constructions of aircraft engine beds, technical requirements for aircraft engine beds and individual loads that the aircraft engine bed must withstand. In the last part I will focus on aircraft propellers. I will explain the basic principle of the propeller, the individual rules for selecting a propeller for a piston engine, safety requirements for an aircraft propeller and the dividing of basic types of aircraft propellers for aircraft piston engines.

Keywords

Lubrication system, wet sump, dry sump, lubrication fluids, engine bed, aircraft envelope, propeller, blade air foil

1. Návrh mazacej sústavy

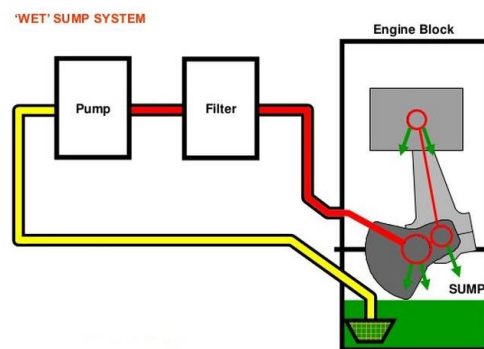
Pri návrhu mazacej sústavy je potrebné brať na zreteľ mnoho faktorov ako veľkosť motora (počet valcov, objem a pod.) a druh motora. Naftové motory majú celkovo nižšie pracovné teploty spaľovania ako benzínové motory. Je všeobecne známe, že prevádzková teplota väčšiny spaľovacích motorov, či už benzínových alebo naftových, je 90°C. Od teploty závisí zmena vlastností resp. viskozity mazacej látky a to nepriamoúmerne.

Potrebná viskozita mazacej látky závisí aj od iných faktorov ako sú najmä drsnosť povrchov mazaných pohyblivých častí. Ďalším faktorom sú pracovné otáčky, čím sú vyššie pracovné otáčky daného motora, tým by mali byť prietoky jednotlivých potrubí a systémov kanálikov väčšie, tak aby bolo vytvorené hydrodynamické trenie medzi pohyblivými časťami motora. K tomu by malo byť nadimenzované aj olejové čerpadlo tak aby bola zabezpečená stála cirkulácia a tlak vzhľadom na pracovný režim motora. Z hľadiska pracovného tlaku a teplôt by mali byť vhodne navrhnuté aj olejové tesnenia. Z pohľadu letectva je dôležitý aj diferenčný tlak (rozdiel atmosférického tlaku a tlaku v mazacej sústave).

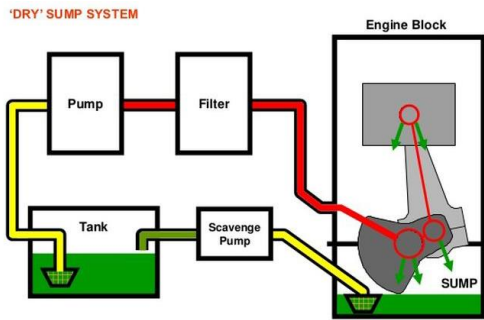
Následne je si potrebné uvedomiť, či bude mať daný motor preplňovanie, nakoľko pri väčšine piestových motorov býva preplňovací agregát mazaný motorovým olejom.

Možno spomenúť, že celková konštrukcia mazacej sústavy piestového motora je tiež závislá od zmýšľaného spôsobu prevádzky. V letectve totiž rozlišujeme dopravné vrtulové lietadlá vrátane ultraľahkých lietadiel STOL určených na bežné lietanie a lietadlá športové, určené napríklad na predvážacie manévry. V športových lietadlách môžeme nájsť motory so

systémom suchej vane schopné pracovať pri akomkoľvek náklone, zatiaľ čo v bežných lietadlách sa nachádzajú motory s mokrou olejovou vaňou, ktoré by sa pri dlhodobom väčšom náklone nemazali a ich životnosť by sa prudko znižovala až by hrozilo poškodenie (pridretie alebo úplné zadrenie mechaniky).



Obrázok 1: Olejový systém s mokrou vaňou. Zdroj [1].



Obrázok 2: Olejový systém so suchou vaňou. Zdroj: [1].

1.1. Požiadavky na mazacu sústavu piestového motora

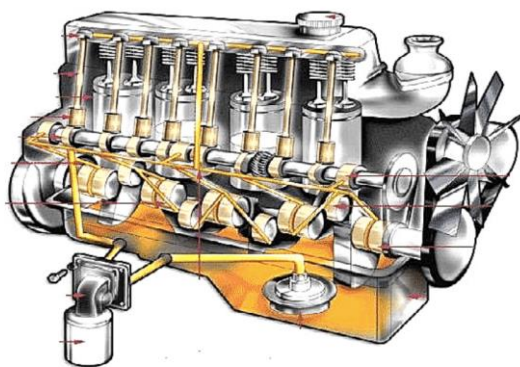
Mazacia sústava piestového motora musí zabezpečiť dostatočné a spoľahlivé mazanie pohyblivých častí piestového motora pri počiatočných teplotách aj pri pracovných teplotách. Zároveň by nemala zbytočne zvyšovať hmotnosť motora a spôsobovať vyššie mechanické straty v dôsledku vysokého hydrodynamického odporu (kinematická viskozita) a tým vyššiu spotrebu paliva.

Sekundárna úloha mazacej sústavy je čiastočné chladenie mechaniky motora nakoľko majú motorové oleje istý odvod tepla, ktoré je odovzdávané následne olejovému chladiču.

1.2. Prvky mazacej sústavy

Prvky mazacej sústavy rozlišujeme vnútorné a vonkajšie. Vnútornými prvkami môžu byť okrem systému kanálov vyfrézovaných v bloku motora aj:

- skupina regulačných a poistných ventilov kvôli regulácii prietoku a teploty oleja
- triskové prívody k pohyblivým častiam mechaniky motora ako sú napríklad ložiská (konštrukcia trysiek / prívodov závisí najmä od typu ložísk resp. či ide o guľôčkové, tyčové alebo kĺzne ložiská)

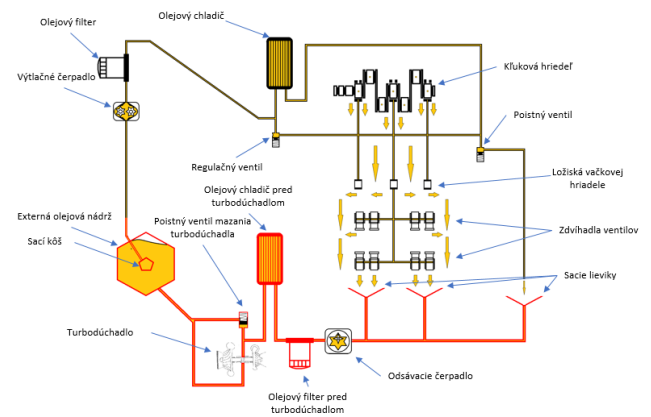


Obrázok 3: Vnútorný a vonkajší mazací systém piestového motora. Zdroj: [2].

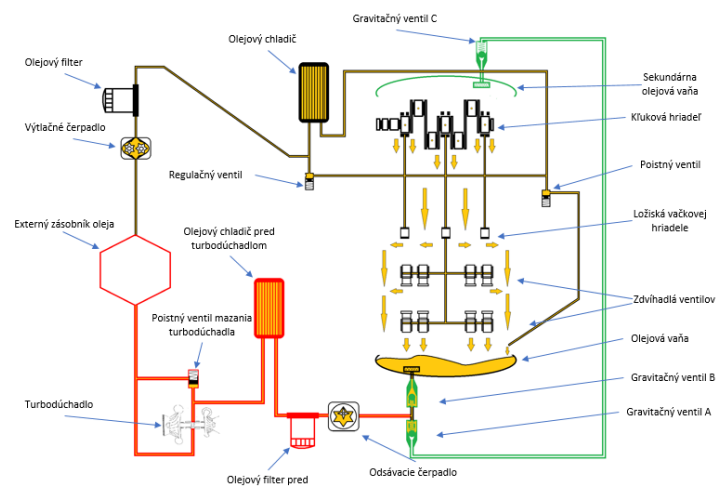
Vonkajšími prvkami sú okrem systému olejových potrubí najmä:

- olejové čerpadlo, ktoré môže byť odsávacie a výtlačné, zubové alebo G-rotor (v závislosti od systému olejovej vane)

- olejový filter pre odstraňovanie nečistôt z oleja (zväčša kovové piliny pri zábehu motora)
- akumulátory oleja pre plynulý prietok oleja a tlmenie hydraulických rázov, môžu slúžiť aj ako externé zásobníky oleja ako súčasť systému suchej olejovej vane (obvykle len pri leteckých akrobatických motoroch)
- odlučovač plynov, ktorý slúži na odlúčenie peny z oleja (preplňované motory s citlivými vysokootáčkovými ložiskami turbodúchadla)
- gravitačné ventily na spoľahlivý prechod režimu mazania motora pri veľkých náklonoch počas chodu (letecké motory so suchou vaňou alebo s dvojitou vaňou...)
- vonkajšie poistné a regulačné ventily (regulácia prietoku oleja cez turbodúchadlo a pod.)



Obrázok 4: Upravený mazací systém preplňovaného motora so suchou vaňou. Zdroj: Autori.



Obrázok 5: Upravený mazací systém s dvojitou vaňou. Zdroj: Autori.

1.3. Materiál a drsnosť povrchov mechaniky

Od materiálu a drsnosti povrchov závisí najmä predpísaný olej. V jednoduchosti platí, že staršie motory, ktorých súčiastky majú drsný povrch (napr. $\mu = 0,0009$ a viac), používajú pre mazanie hustejšie oleje, kvôli čo najhrubšej hydrodynamickému vrstve, ktorá zabezpečí, že vrcholky členitého povrchu súčiastok sa nebudú dotýkať a spôsobovať medzné trenie. Súčasná technológia výroby a obrábania (brúsenia) umožňuje vyrobiť

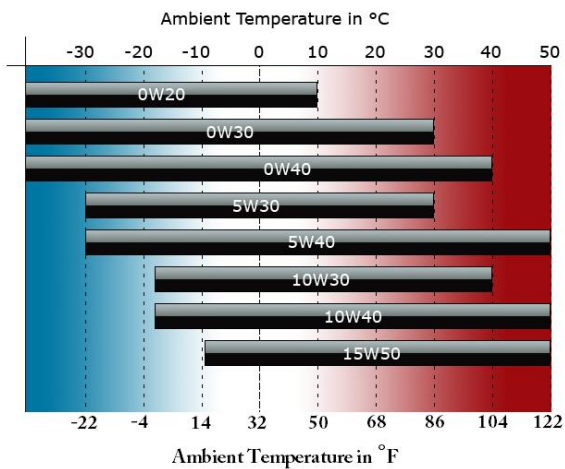
súčiastky s ultrahladkým povrchom (napr. molibdenové povrchy), vďaka čomu je možné používať redšie oleje v moderných motoroch. Tým je znížený hydrodynamický odpor vďaka čomu je dosiahnutý väčší výkon a menšia spotreba paliva piestového motora.



Obrázok 6: Medzné trenie povrchov (vľavo) a hydrodynamické trenie (vpravo). Zdroj: [3].

1.4. Použitý olej

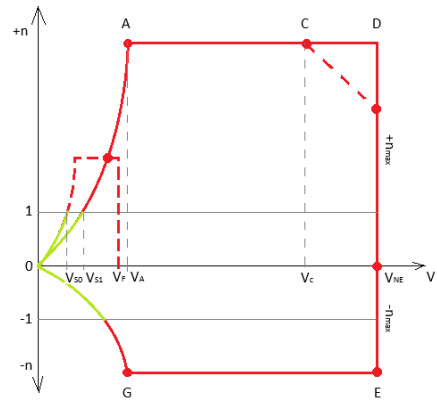
Použitý olej je závislý od povrchov súčiastok a najmä od prostredia v ktorom bude daný olej pracovať. Vlastnosti oleja ako je hlavne jeho viskozita pri počiatkovej prevádzke (štart) závisia na atmosférickej teplote okolia. V súčasnosti rozlišujeme viacstupňové oleje, ktoré dokážu meniť svoju viskozitu medzi počiatkovou a pracovnou teplotou. Napríklad Olej 5W30 má kinematickú viskozitu pri -20°C okolo 3500 a pri 90°C okolo 3,8. Napriek zdanlivo veľkému rozdielu viskozít je vhodný najmä pre motory pracujúce v miernom podnebí ako je napríklad oblasť Európy. Hustejšie oleje 10W30 až 15W30 sú vhodnejšie do horúceho prostredia, pretože ich viskozita sa neznižuje na toľko aby nemal olej mazacie vlastnosti. Naopak riedke oleje ako napr. 0W40 až 0W15 sú vhodnejšie do studených (napr. sibírskeho) oblastí.



Obrázok 7: vplyv teplôt na viskozitu olejov. Zdroj: [4].

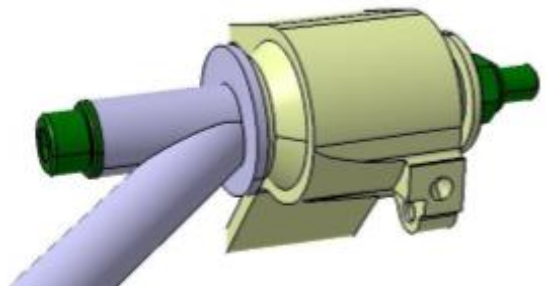
2. Návrh motorového lôžka pre lietadlový piestový motor

Návrh motorového lôžka zahŕňa výber typu konštrukcie a niekoľko pevnostných výpočtov a výpočtov prierezov. Vstupnými parametrami sú váha, poloha ťažiska a letová obálka preťaženia lietadla popr. obálka poryvov preťaženia lietadla. Nakoľko lietadlo pri prudkých manévroch býva od preťaženia najviac namáhané, namáhania pri poryvoch nie sú uprednostňované vo výpočtoch.



Obrázok 8: Letová obálka preťaženia lietadla. Zdroj: Autori.

Uchytenia lôžka k motoru a k lietadlu by malo byť realizované skrutkovým spojom kvôli požiadavke jednoduchej montáže a demontáže. Ak je lôžko realizované ako prútová konštrukcia, jednotlivé pruhy sa zvyknú spájať zvarovými spojmi.



Obrázok 9: Uchytenia motorového lôžka. Zdroj: [5].



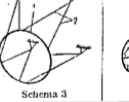
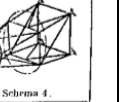
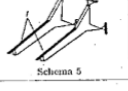

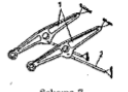

2.1. Požiadavky na motorové lôžko

Motorové lôžko by malo podľa predpisov odolávať najväčšej sile spôsobenej nielen ťažou motora ale aj jeho násobkom v dôsledku preťaženia n , z každej strany lôžka vrátane uchytení. Ďalšími požiadavkami sú hmotnosť a jednoduchosť. Hmotnosť súvisí najmä s použitým materiálom, v letectve sa používajú ľahké zliatiny na báze hliníka ako napríklad dural. Jednoduchosť súvisí s konštrukciou, v letectve sa obvykle používa pre motorové lôžka piestových leteckých motorov, prútová konštrukcia.

Ďalšou požiadavkou je robustnosť. Motorové lôžko by malo umožňovať jednoduchú a rýchlu výmenu motora. A tiež by mal byť medzi lôžkom a motorom priestor pre pomocné agregáty ako je napríklad štartér, alebo riadiaca jednotka a ďalšie elektrické príslušenstvo.

2.2. Typy konštrukcii motorových lôžok

Vo všeobecnosti rozlišujeme konštrukcie prútové, plno stenné alebo kombinované.

Název schéma	Radové motory		Hvězdicové motory	
	Lože s příčným vyztužením. Motory s rozpinnou síťňou	Lože bez příčného vyztužen. Motory s masnou síťňou	Jednoduchá příhradovina	Stoňhá příhradovina
Příhradové	 Schema 1	 Schema 2	 Schema 3	 Schema 4
Ploštinová		 Schema 5		
Ploštinovo-příhradové	 Schema 6	 Schema 7		 Schema 8

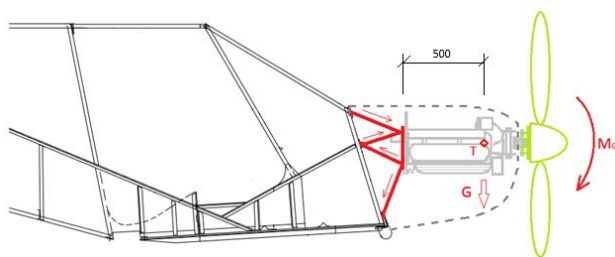
Obrázok 10: Typy motorových lôžok. Zdroj: [5].

Prúťové konštrukcie sú najčastejšie používané vďaka svojej robustnosti. Používajú sa najmä pre piestové motory a dokážu sa prispôbiť pre uchytanie motora z akejkoľvek strany resp. v zadnej časti, v spodnej časti aj v hornej časti (neobvyklé).

Plno stenné konštrukcie sú v podstate nosníky, ktoré dokážu motor uchytávať len zo spodnej časti. Typické sú najmä pre automobilový priemysel, v letectve nie sú často využívané. Profily nosníkov bývajú štvorcové, v tvare „I“ alebo v tvare „U“. Ich výhodou je jednoduchosť. Kombinované motorové lôžka alebo tzv. plno stenno-priehradové lôžka sú typické pre uchytávanie motora na krídle viacmotorového lietadla. Sú konštrukčne zložité a používajú sa spolu s pylónmi na uchytanie turbínových motorov dopravných lietadiel.

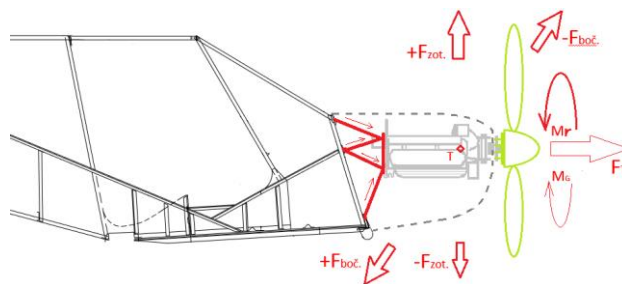
2.3. Sily pôsobiace na motorové lôžko

Sily pôsobiace na motorové lôžko lietadla sú v skutku rozmanité. Môžeme ich rozdeliť na sily pôsobiace na lôžko pri stacionárnej polohe a sily pôsobiace na lôžko za letu.



Obrázok 11: Sily pôsobiace na motorové lôžko pri stacionárnej polohe. Zdroj: Autori.

Sily pôsobiace na lôžko za letu sú násobkom síl pri stacionárnej polohe a nazývajú sa tiež zotrvačné sily. Násobok síl súvisí s letovou obálkou daného lietadla a nazýva sa aj preťaženie „n“. Okrem zotrvačných síl pôsobí na motorové lôžko piestového motora lietadla ťahová sila a momenty od vrtule. Momenty od vrtule rozlišujeme gyroskopický moment a reakčný moment. Gyroskopický moment sa zvykne pri výpočtoch motorového lôžka zanedbať.



Obrázok 12: Sily pôsobiace na motorové lôžko za letu. Zdroj: Autori.

Zotrvačné sily sa počítajú pri konštruovaní ako:

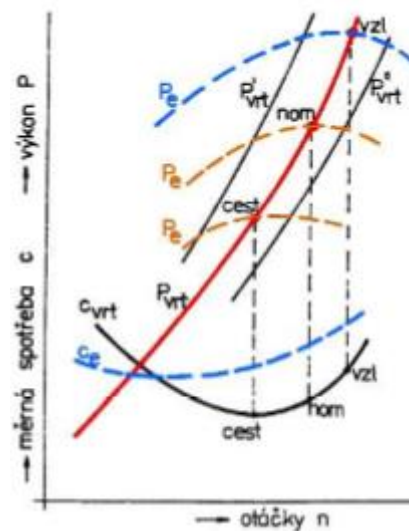
A) návrhové zaťaženia: súčin tiaže motora, násobku preťaženia v bode A (najvyššie preťaženie pri prudkom stúpaní) a gravitačného zrýchlenia.

B) bočné zaťaženia: súčin tiaže motora, troch štvrtín preťaženia „n“ a gravitačného zrýchlenia. Jednotlivé sily sa zvyknú násobiť podľa väčšiny svetových konštruktérskych predpisov bezpečnostným násobkom „k“, jeho hodnota závisí od uplatneného predpisu. Napríklad podľa predpisu L8 leteckého úradu SR je $k = 1,5$.

Ďalšie konštruktérské výpočty bývajú v súčasnosti počítané v CAD softvéroch (pevnostné kontroly prúťov, skrutiek a uchytení, zvarných spojov, mechanické napätia a pod.)

3. Výber vrtule pre lietadlový piestový motor

Výber vrtule pre lietadlo s piestovým motorom sa odvíja od výkonu a krútiaceho momentu daného motora. Dôležité je poznať charakteristiku týchto parametrov v závislosti od otáčok.



Obrázok 13: Ptáčkové charakteristiky vrtule a motora. Zdroj: [6].

Pretože väčšina bežne dostupných leteckých vrtúľ dokáže efektívne vyvíjať maximálny ťah v rozmedzí 2000 až 3000 ot./min. Ak je výkon motora pri týchto otáčkach nedostatočný, predradí sa medzi výstupom motora a vrtuľou reduktor PSRU. Reduktor PSRU je jednostupňová prevodovka resp. súkolesie s priamym spojením ozubených kolies, s remeňovým spojením alebo s reťazovým spojením. Prevodový pomer závisí od pracovnej otáčkovej charakteristiky motora a charakteristiky

vrtnule. Napríklad ak dosahuje daný motor maximálny výkon pri 6000 ot./min a vybraná vrtnuľa má najvyšší ťah pri 2400 ot./min, prevodový pomer bude 2,5 : 1.

Od veľkosti výkonu motora závisí typ vrtnule. Čím väčší výkon ma motor, tým môže mať vybraná vrtnuľa väčší priemer, viac listov (než dva), väčší uhol nastavenia, hrubší profil a väčšiu tetivu v 75% dĺžky listu.

V súčasnosti sú bežne dostupné dvoj listé a troj listé vrtnule, s pevným uhlom nastavenia (pevné vrtnule) alebo s nastaviteľným uhlom nastavenia (na zemi nastaviteľné vrtnule alebo vrtnule stálych otáčok), drevené alebo kompozitné od rôznych výrobcov. Na Slovensku a v Českej republike je známy výrobca Woodcomp.

Najefektívnejšia spolupráca motora a vrtnule sa dosiahne použitím vrtnule stálych otáčok, kedy sa dokáže uhol nastavenia prispôbiť rýchlosti letu pri stálych otáčkach motora.



Obrázok 14: Dvojlistá vrtnuľa Woodcomp SR 3000N. Zdroj: [7].

3.1. Požiadavky na leteckú vrtnuľu

Letecká vrtnuľa by mala byť bezpečná a spoľahlivá. Uchytenia listov ku náboju vrtnule by mali byť odolné voči ťahu spôsobenému odstredivou silou. Uchytenia vrtnule k motoru by mali byť realizované skrutkami tak aby sa dala vrtnuľa jednoducho odmontovať a namontovať. Skrutky týchto uchytení musia byť dimenzované na maximálny ťah od vrtnule. Výstup z motora alebo z reduktora musí byť kompatibilný s možnosťami uchytenia náboja vrtnule. Kužeľ vrtnule musí mať dostatočnú aerodynamiku tak, aby jeho tvary plynulo prechádzali ku kapotáži motora. Vrtnuľa ako rotačné teleso musí byť vyvážená aby nevznikali nevyvážené odstredivé sily jednotlivých listov.

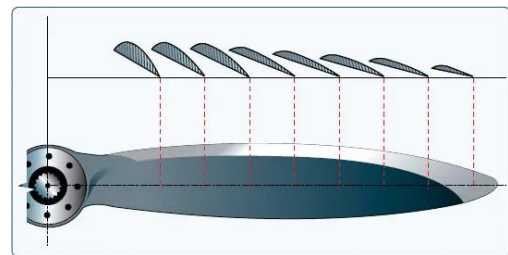
Ďalšími požiadavkami sú hmotnosť, účinnosť a ťah. Vrtnuľa by nemala byť príliš ťažká nielen kvôli celkovej hmotnosti a polohe ťažiska lietadla ale aj kvôli primeranému namáhaniu výstupu motora, ložísk a kľukovej hriadele. Požiadavky na účinnosť a ťah vrtnule závisia od vlastností motora. Čepele listov vrtnúľ by mali byť odolné aspoň voči nárazu častíc piesku a drobného štrku.



Obrázok 15: Konštrukcia vrtnule a jej časti. Zdroj: [8].

3.2. Princíp fungovania leteckej vrtnule

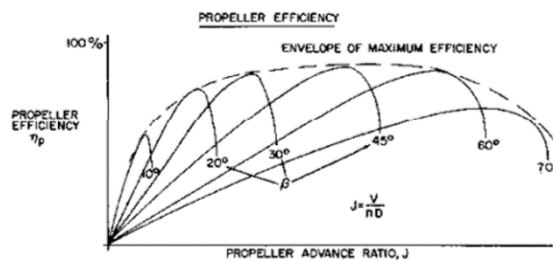
Princíp fungovania vrtnule spočíva v profile listov vrtnule, ktoré vytvárajú vztlak. Tieto profily totiž pri rotácii obtekajú vzduch zo smeru letu a kolmo na čap vrtnule. Jednotlivé prúdnice obtekajú list vrtnule pod určitým uhlom nábehu. Uhol nastavenia priamo ovplyvňuje uhol nábehu listu voči prúdniciam. Avšak uhol nábehu je meraný medzi priamkou spájajúcou odtokovú a nábežnú hranu a vodorovnou osou. Uhol nastavenia je uhol medzi priamkou lemujúcou spodnú časť profilu listu a vodorovnou osou. Profil listu vrtnule je rozmanitý a spolu s tetivou a uhlom nastavenia sa mení postupom celej dĺžky listu a vytvára tak skrútenie listu.



Obrázok 16: Skrútenie vrtnule. Zdroj: [9].

Pri koreni býva profil hrubý a elipsovitý s vysokým (tupým) uhlom nastavenia, pretože pri pracovných otáčkach pretekajú prúdnice v tejto časti listu pomaly. Približne od 25% dĺžky po 75% dĺžky je profil vrtnule stredne hrubý až štíhly. Táto časť vrtnule produkuje počas pracovných otáčok najväčší vztlak, ktorým vytvára väčšinu do predného ťahu. Posledná štvrtina dĺžky listu je tvorená štíhlym profilom, a takmer nulovým uhlom nastavenia kvôli prúdeniu vzduchu nadzvukovou rýchlosťou. So vzdialenosťou od stredu sa totiž rýchlosť listov zväčšuje. Špičky listov sú zaoblené tak aby nevznikalo turbulentné vírenie ktoré by spôsobovalo vibrácie.

Tetiva profilu listu sa zväčšuje plynulo od koreňa po 75% dĺžky listu. Za tromi štvrtinami sa tetiva znižuje až po špic listu vrtnule. Výrobcovia vrtnúľ udávajú parametre ako uhol nastavenia, v 75% dĺžky listov. Ďalšími parametrami od výrobcu by mali byť hmotnosť, charakteristiky ťahu a účinnosti, a pracovné otáčky. Čím väčší je uhol nastavenia, tým je vrtnuľa menej efektívna v stacionárnej polohe a lietadlo potrebuje dlhšiu vzletovú dráhu. Avšak pri veľkom uhle nastavenia je vrtnuľa účinná pri väčších vzdušných rýchlostiach a lietadlo dosiahne vďaka tomu vyššiu maximálnu rýchlosť a dostup.



Obrázok 17: Priebehy účinností vrtule pri rôznych uhloch nastavenia.
Zdroj: [6].

Vrtule stálych otáčok dokážu uhol nastavenia meniť počas každej fáze letu. Pri vzlete sa listy posunú tak aby mali čo najmenší uhol nastavenia, vďaka čomu má vrtuľa väčší ťah zo stacionárnej polohy. Následne sa listy pootáčajú pomocou hydraulického systému alebo elektrického servo systému plynulo po najvyšší uhol nastavenia v závislosti na vzdušnej rýchlosti. Vďaka tomu má vrtuľa ťah aj vo vyšších rýchlostiach alebo v riedkej atmosfére.

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] <https://donkiespeed.nl/d8-audi-1-8-t-dry-sump-lubrication-system-explained/>
- [2] <https://www.flexfuel-company.es/sistema-lubricacion-funcionamiento-descarbonizacion/>
- [3] <https://docplayer.gr/106370375-Technologia-oprav-automobilov.html>
- [4] <https://www.volkswagenblog.sk/5w30-co-zahadne-oznacovanie-olejov-vysvetlene>
- [5] F2-DP-2019-Havlik-Marek-DP.pdf
- [6] 30309302.pdf
- [7] <http://www.woodcomp.cz/in-flight-adjustable-propellers/>
- [8] Installation_Instructions_Composite_Aircraft_2_Blade_Lycoming_2G0_Instructions_1418054067
- [9] <https://www.flightliteracy.com/basic-propeller-principles-part-one/>

ANALYSIS OF NEW PROGRESSIVE DIAGNOSTIC METHODS IN THE AREA OF AIRCRAFT MAINTENANCE

ANALÝZA NOVÝCH PROGRESÍVNYCH DIAGNOSTICKÝCH METÓD V OBLASTI ÚDRŽBY LETECKEJ DOPRAVY

Matej Supuka

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
matejsupuka22@gmail.com

Michal Hruz

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

Abstract

In the area of aircraft maintenance, we commonly meet with the problem of corrosion, detection of which is one of the primary obstacles. Implementation of modern sensing techniques has a potential to bring many benefits. The objective of this work is to analyze technologies, their potential applications, and viability of switching to autonomous detection using computer aided sensing. Primary source of information were research articles from science databases such as ResearchGate and ScienceDirect. Available documents were analyzed and subsequently, useful information was extracted. First part deals with theoretical knowledge about corrosion, based on which potential technologies were chosen. Those were then described, and their viability was analyzed, based on how well they could achieve our goals. Selected technologies have shown potential, however necessary solutions could not be found to enable fully switching to autonomous computer detection. Although data acquired show many potential benefits that could arise from partial implementation of these technologies combined with old fashioned visual inspection.

Keywords

corrosion, detection, analysis, digitalization, sensors, effectiveness, time savings

1. Úvod

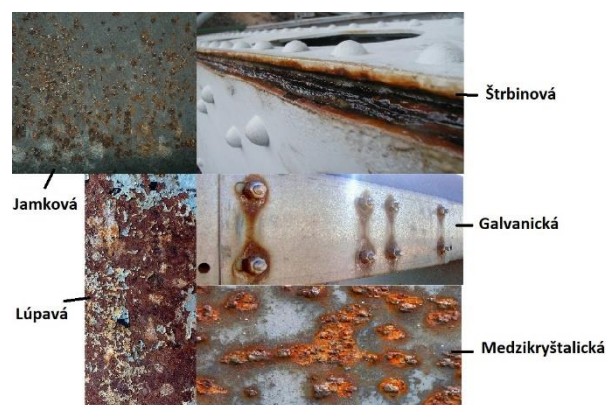
V leteckej doprave je štandard bezpečnosti veľmi vysoký. Avšak udržanie takéhoto štandardu si vyžaduje dôkladnú údržbu jednotlivých lietadiel. Pri tomto procese sa od nepamäti stretávame s koróziou. Korózia sa vyskytuje v mnohých formách, a často aj v ťažko prístupných miestach. Predstavuje serióznu hrozbu pre letuschopnosť lietadla, nakoľko oslabuje integritu kovových komponentov. Práve preto je detekcia korózie prioritou číslo jedna. V súčasnosti sa odborný personál stále primárne spolieha na vizuálnu inšpekciu. Preskúmali sme technológie, ktoré majú potenciál identifikovať prítomnosť korózie, a ideálne aj určiť rozsah a závažnosť poškodenia. Ďalším skúmaným faktorom bolo, do akej miery použitie daných technológií šetrí čas potrebný na kontrolu, ale s dôrazom na to, aby neuprela spoľahlivosť údržby. V neposlednom rade sme prihliadali aj na možnosti integrácie do väčšieho, automatizovaného, a preferabilne počítačom riadeného systému.

2. Prezentácia práce

2.1. Teoretické poznatky

Ako prvé je potrebné oboznámiť sa s teóriou. Poznáme niekoľko základných typov korózie s ktorými sa bežne stretávame.

2.1.1. Typy korózie



Obrázok 11: Typy korózie. Zdroj: Autori.

Jamková korózia naberá formu dierok na povrchu, a vo väčšine prípadov je spôsobená prítomnosťou elektrolytov v priamom kontakte s materiálom.

Štrbinová korózia, ako už napovedá názov sa vyskytuje v medzerách a priehlbínach, kde často stagnuje kondenzát a cirkulácia je limitovaná. Tento typ korózie je veľmi deštruktívny a ťažko detekovateľný.

Galvanická korózia, taktiež nazývaná bimetalická korózia, vzniká pri kontakte dvoch rozdielnych kovov. Jeden zaujme pozíciu katódy a druhý pozíciou anódy. Následne dochádza k odovzdávaniu iónov od anódy ku katóde.

Medzikryštalická korózia sa vyskytuje pozdĺž zrna materiálu pri kolmom pôsobení tlaku na okraj štruktúry. Môže sa vyskytnúť v prípade, ak pevný hliník bol nesprávne tepelne ošetrený.

Lúpavá korózia sa vyskytuje na povrchu materiálu, a je výsledkom oddelenia zŕn vo vrstvách kovových štruktúr. Jej vrstevnatý charakter spôsobuje pomernú ľahkosť jej detekcie.

Skrytá korózia je najťažšie detekovateľná, nakoľko na povrchu nie sú viditeľné žiadne známky degradácie. Príznakom je znížená hrúbka materiálu alebo povrchové deformácie, nakoľko molekulárny objem oxidu hliníka sa líši od čistého hliníka.

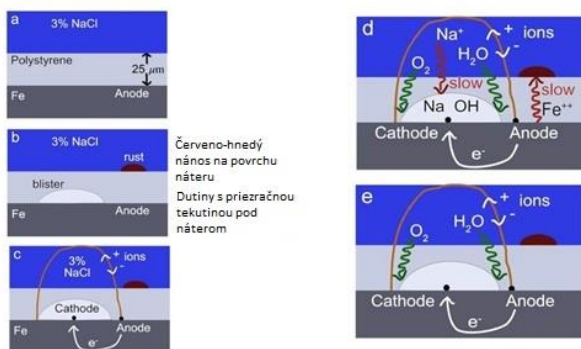
2.1.2 Prostredie

Prostredie v ktorom je lietadlo alokované má tiež citeľný vplyv na rýchlosť vytvorenia korózie. Prítomnosť morskej soli v prímorských oblastiach, alebo chemicky žieravých zlúčenín v priemyselných oblastiach značne urýchľujú narušenie kovových zliatin. Na základe toho rozdeľujeme atmosféru na nasledovné typy: vidiecka, mestská, priemyselná a morská. Vidiecka je z hľadiska korozivity najvhodnejšia pre lietadlá, pretože koncentrácia škodlivých látok je v tomto type atmosféry najnižšia.

2.1.2 Prevencia

Najlepšou formou ochrany pred koróziou je proaktívny prístup. Je potrebná častá kontrola a umývanie lietadla na odstránenie usadených elektrolytov. Najlepšou formou prevencie je však zabránenie kontaktu medzi kovom a elektrolytom. Na to nám slúžia nátery.

Organické nátery sú dobrou voľbou pre civilných prevádzkovateľov nakoľko sú dostupné a neprinášajú zdravotné riziko pre aplikujúce osoby. Pozostávajú z pigmentov rozpustených v polymetrickej fáze známej ako "spojivo". Formujú pigmentovú bariéru ktorá oddeľuje kov od vonkajšieho prostredia a tým zamedzuje kontaktu s elektrolytom. Aj napriek desaťročiam výskumu však dochádza k porušeniu tejto bariéry a vytvoreniu "vankúšikov" oxidu pod náterom. Tento proces stále nie je plne objasnený



Obrázok 2: Tvorba korózie pod náterom. Zdroj: [1].

Chrómové nátery sa často používajú na ochranu vojenských lietadiel a vrtulníkov. Pozostávajú z anorganického konverzného náteru, epoxidového základného náteru a polyuretánového vrchného náteru. Donedávna sa používali nátery obsahujúce šesťmocný chróm, pretože má výborné vlastnosti pri spomaľovaní odovzdávania iónov medzi anódou a katódou. Tiež má dobré ochranné vlastnosti naprieč širokým rozsahom pH. Bohužiaľ šesťmocný chróm je nebezpečný pre životné prostredie a je známym karcinogénom. Preto vo vyspelých krajinách, ktoré majú prísne štandardy na ochranu životného prostredia, trojmocný chróm sa začína využívať ako vhodná náhrada.

2.1.4 Protikorózne zmesi

Jedná sa o pomerne jednoduchú a efektívnu metódu prevencie. Aplikuje sa chemický postrek látkou, ktorá zamedzuje tvorbe novej korózie, ale tiež je schopná potlačiť koróziu aj tam, kde sa už vytvorila. Používajú sa po ukončení výrobného alebo opravného procesu. Pracujú na základe jedného alebo viacerých z nasledujúcich mechanizmov: 1. Blokovanie sformovania povlaku, 2. Kinetická inhibícia povrchových reakcií, 3. Odpudzovanie vody a 4. Lokálna modifikácia elektrolytu.

Tabuľka 1: Zlúčeniny na prevenciu korózie. Zdroj: [2].

CPC	Špecifikácie	Farba	Popis	Typ povlaku
Amgard	Mil-C-85054	Tmavo modrá / zelená	Univerzáln e použitie	Tvrдый suchý
Dinitrol AV30	-	Svetlo hnedá	Korozívny inhibitor	Voskový
Dinitrol AV8	BMS 3-23	Svetlo hnedá	Korozívny inhibitor	Nelepivý
LPS3	BMS 2-23 BMS 3-29	Tmavo žltá	Mazací povlak	Voskový

2.2. Súčasný stav problematiky

2.2.1. Detekcia

V súčasnosti existujú technologické riešenia, no stretávajú sa s mnohými problémami, preto je stále primárnou metódou detekcie vizuálna inšpekcia. Jedná sa o originálnu nedeštruktívnu metódu. Je všeobecne akceptované, že vizuálna inšpekcia neodhalí pod 10% straty hrúbky materiálu. V spojení s možnosťou dôjdenia k chybe ľudského faktora, vizuálna inšpekcia má nedostatky v oblasti spoľahlivosti.

Ultrazvukové metódy sú rozšírené, a aplikujú sa najčastejšie dvomi spôsobmi: Pulzná echolokácia a riadené vlny. Pulzná echolokácia vie vykonať presné merania hrúbky, no v niekoľkovrstvových štruktúrach je limitovaná len na prvú vrstvu. Takisto je táto metóda veľmi pomalá. Limitácia pri meraní v hlbších vrstvách sa vyskytla aj pri pomerne novej technológii ultrazvuku s riadenými vlnami, ktorá je ale citlivejšia na celistvosť spojitých hmôt.

Metódy vírivého prúdu sú ďalšou nedeštruktívnou alternatívou. Poznáme metódu jednofrekvenčného prúdu, niekoľkofrekvenčného prúdu a pulzovaného vírivého prúdu. Jednofrekvenčný prúd sa stretáva s rovnakými problémami ako ultrazvukové metódy, a to neschopnosť detekcie v hlbších vrstvách materiálu. Multifrekvenčná metóda volí viacero frekvencií na optimalizáciu citlivosti detekcie hrúbky prvej a druhej vrstvy. Je schopná dodať viac informácií, no je ovplyvňovaná rovnakými nežiaducimi faktormi. Najnovším vývojom vírivého prúdu je nahradenie konštantného prúdenia pulzným. Cievka v sonde vyšle pulzované magnetické pole, ktoré prejde cez materiál, a jeho meniace sa vlastnosti vytvárajú vírivé prúdy na povrchu. Vlastnosti týchto prúdov indikujú hrúbku materiálu.

2.2.2. Klasifikácia poškodenia

Tabuľka 2: Klasifikácia podľa USAAF. Zdroj: [3].

Závažnosť	Hrúbka	Odstránenie
Ľahká	Max 0,025mm	Brúsny papier
Mierna	Max 0,25 mm	Pieskovanie
Závažná	Nad 0,25 mm	Výmena dielu

Tabuľka 3: Klasifikácia podľa FAA. Zdroj: [4].

Závažnosť	Popis
Úroveň 1	Lokálna korózia odstrániteľná v rámci výrobných limitov
Úroveň 2	Korózia vyžadujúca opravu a presahuje výrobné limity
Úroveň 3	Korózia vyžadujúca okamžitú výmenu komponentu

2.2.3. Odstraňovanie korózie

Na odstránenie korózie sa môžu použiť chemikálie ako fenoly, krezoly, kyselina fosforečná, kyselina fluorovodíková, kyselina dusičná a trikrezylfosfát, ktoré sú ale veľmi nebezpečné, preto je potrebné zabezpečiť ochranné vybavenie. Pred začatím odstraňovania je potrebné zhodnotiť, či je poškodenie v limitoch. Ak poškodenie 2 a 3 úrovne presahuje výrobcom určené limity, je možné zahájiť výmenu bez akéhokoľvek úsilia na odstránenie korózie. Na zistenie hĺbky poškodenia sa používa hĺbkové meradlo, alebo modelovacie materiály. Odstraňovanie samotnej korózie a farebného poťahu sa vykonáva pomocou brusnej trysky. Tento proces nazývame pieskovanie. Na dokončenie sa používa brusný papier.

2.3. Progresívne metódy

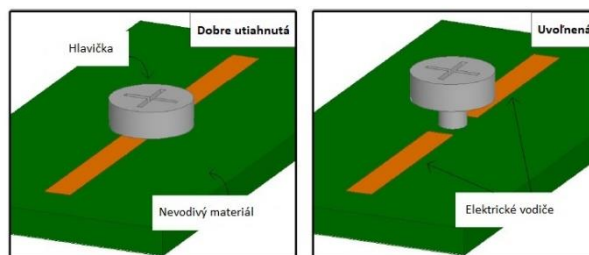
Súčasný stav diagnózy sa spolieha na princíp nájsť a oprav, čo znamená že proces zaberie značné množstvo času, nehovoriac o tom že môže dôjsť ku chybám. V ideálnom prípade by detekcia bola prenechaná na autonómny, počítačom riadený systém, ktorý by vyhodnotil potrebu opravy.

2.3.1. Vysokofrekvenčná identifikácia (RFID)

Skratka RFID znamená Radio Frequency Identification. Princíp pozostáva z komunikácie medzi štítkami s informáciami, čítačkou a počítačom, ktorý vyhodnocuje získané dáta. Štítky môžu byť pasívne aj aktívne, ale pre účely aplikácie na lietadlo sú vhodnejšie pasívne štítky, ktoré sú aktivované čítačkou.

Signál medzi štítkom a čítačkou môže byť čiastočne alebo kompletne prerušený nanosením elektromagnetickej tieniacej vrstvy. V našom prípade je to kompozitný náter o hrúbke niekoľko desiatok mikrometrov. Kompozitný náter by bol zvolený tak, aby korodoval podobným tempom ako materiál na ktorom je aplikovaný. Hrúbka náteru v desiatkach mikrometrov bola zvolená na základe toho, že pri nižších hrúbkach je signál obnovený instantne, a informácia je poskytnutá len o tom, či je poťah narušený alebo nie. Pri zvolení väčšej hrúbky je však možné pozorovať postupné obnovenie signálu, z čoho sa dá odvodiť intenzita poškodenia.

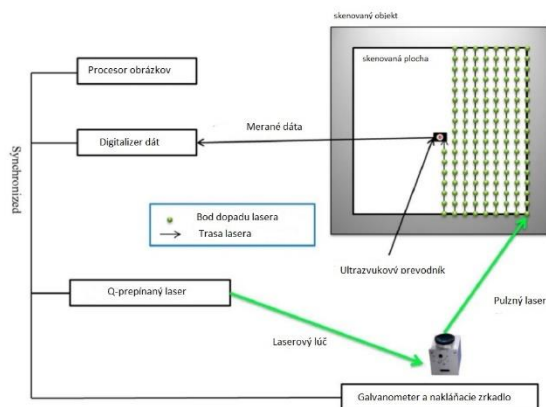
Prítomnosť korózie pod hlavičkou skrutky môže spôsobiť jej uvoľnenie. Toto sa dá pomocou RFID detekovať princípom prepínača v elektrickom obvode. Ten prepína medzi stavom zapnutý a vypnutý. Ideálny prípad je, ak je skrutka pripevnená na elektricky nevodivom materiáli. Dva elektrické vodiče prerušené presne pod hlavičkou skrutky spôsobujú, že skrutka sa stáva súčasťou elektrického obvodu. V prípade jej uvoľnenia sa elektrický obvod preruší, stav spínača sa prepne a RFID štítok vyšle signál čítačke že obvod je prerušený.



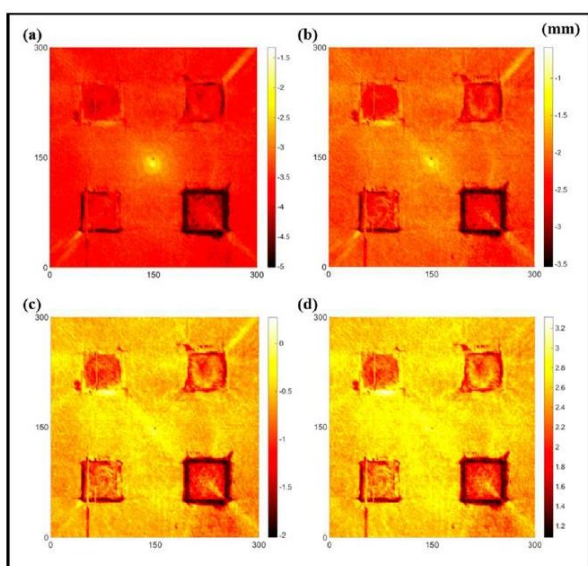
Obrázok 3: Princíp detekcie uvoľnenia skrutky. Zdroj: [4].

2.3.2. Skenovanie pulzným laserom

Skenovanie pulzným laserom využíva neodýmový laser s yttriovo hliníkovým granátom ako fázové médium. Dopad lasera na povrch kovového plátu spôsobuje ultrazvukové vlny ktoré sa šíria materiálom. Toto šírenie ultrazvuku spôsobuje mechanické zaťaženie, výsledkom ktorého je piazoelektrina. PZT (piazoelektrický) senzor zachytí tieto signály a vyhodnotí výsledky. UWPI (Ultrasonic Wave Propagation Imaging) systém pozostáva z nasledovných komponentov: Q-prepínaný laser, zrkadlový systém na základe galvanometra, ultrazvukový senzor, vysokorýchlostný digitalizér a spracovávač obrazu. Laser postupuje po dopredu nastavenej mriežke s rozstupmi 2 mm. Ako prvé sú merané signály vlny odrážanej pozdĺž dráhy lúča a získa sa časový záznam. Dáta pre každý dopadový bod sú naskladané vo vertikálnej štruktúre. Následne sú naskladané sériovo a tabuľka je integrovaná do horizontálnej roviny. Ako posledná je horizontálna rovina transformovaná do 3D obrázku.



Obrázok 4: Vytvorenie skenu. Zdroj: [5].



Obrázok 5: Výsledky skenu. Zdroj: [5].

2.3.3. LiDAR

Light Detection And Ranging je metóda vzdialenej detekcie, ktorá využíva svetlo vo forme laserových pulzov na meranie vzdialenosti. Vygeneruje sa „point cloud“ 3D model, ktorý sa porovnáva s CAD modelom lietadla v databáze. Nevýhodou tohto systému je, že nedetekuje priamo koróziu, ale deformácie. Príčinou deformácii však nemusí byť iba korózia, ale aj kolízia s cudzími objektmi ako sú vtáky.

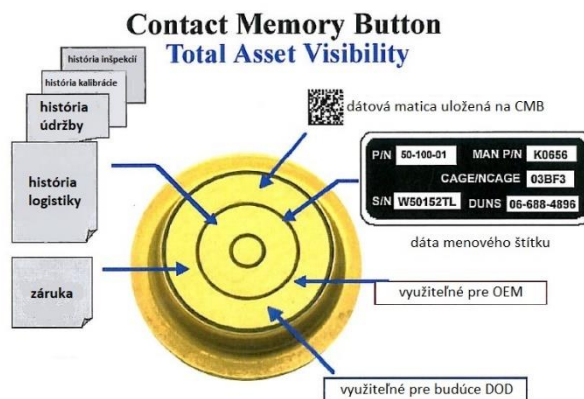
2.3.4. Koncepcia Smart Hangar

Technológia smart hangar je sústava vybavenia hangáru, ktorá má za cieľ urýchlenie, spresnenie a zvýšenie spoľahlivosti údržby lietadla. Snaha je digitalizovať prostredie a využiť robotické a autonómne prostriedky. Stojí na štyroch pilieroch. Digitalizácia prostredia tvorí základ, na ktorom celý systém pracuje. Všetky procedúry je potrebné prekonvertovať do digitálnej formy. Informácie o stave lietadla, informácie senzorov rozmiestnených po hangári, údaje z predchádzajúcich údržieb a informácie doplnené personálom musia byť dostupné a integrované v jednom digitálnom systéme. Analytické nástroje sú tiež nevyhnutnou súčasťou, pretože sú zdrojom dát. Hlavné

výhody digitalizácie sú efektívne spracovanie dát, optimalizácia interných procesov a optimalizácia manažmentu v oblasti plánovania logistiky. Automatizácia a robotizácia prostredia zvyšuje efektívnosť pracovnej sily a rýchlo vykonáva opakujúce sa procedúry, ktoré vykonáva s menšou deviaciou ako ľudský pracovník. Inteligentná produkcia zabezpečuje výrobu súčiastok tesne pred tým, ako sú potrebné na pracovisku. Tým predchádza nedostatkom komponentov, čo spôsobuje zdržanie. Alebo prebytku komponentov, čo spôsobuje nadbytočné náklady.

2.3.5. Evidencia údržby – CMB

Contact Memory Button je čip určený na zapisovanie a čítanie elektronických dát bez pomoci batérie. Funguje v extrémnych prostrediach a je schopný uchovávať až 2 GB dát. Dáta sa získavajú pomocou kontaktnej sondy ButtonLink. Táto technológia eliminuje mnohé časové zlyhania spojené s logistikou, zrýchľuje zápis informácií o komponente a takisto sprístupňuje informácie v rámci niekoľkých sekúnd.



Obrázok 6: Rozloženie čipu CMB. Zdroj: [6].

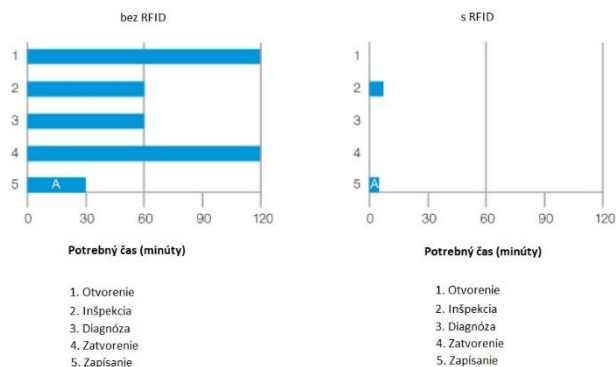
2.4. Výsledky

Tabuľka 4: Aplikovateľnosť technológií na typy korózie. Zdroj: Autori.

	Jamková korózia	Štrbinová korózia	Galvanická korózia	Medzikryštalická korózia	Lúpavá korózia	Skrýta korózia
RFID	✓	x	✓	✓	✓	x
Pulzný laser	✓	x	✓	✓	✓	✓/x
Lidar	✓	✓/x	x	x	✓/x	✓/x
Smart Hangar	x	x	x	x	x	x
CMB	x	x	x	x	x	x

Tabuľka 5: Cena vývoja. Zdroj: Autori.

	Nákup hardware	Implementácia do systému	Vývoj aplikácie pre detekčné zariadenie	Vývoj databázovej štruktúry	Údržba a servis
Cena za položku	50 000 € – 100 000 €	500 000 € – 1 000 000 €	200 000 €	150 000 €	100 000 €



Obrázok 6: Časová úschova RFID. Zdroj: Autori.

Zvolené technológie prejavili potenciál v detekcii s koróziou, avšak kvôli nedostatkom schopnosti odhalenia niektorých typov korózie je prechod na plne autonómnou, inteligentnú detekciu nemožný. Prítomnosť odborného personálu je stále nutná na vykonanie vizuálnej inšpekcie. Čo sa týka časovej úschovy, väčšina metód ju prináša, okrem prípadu pulzného lasera, ktorého aplikácia je veľmi zdĺhavá. Odporúčaná prístup je kombinácia odborného personálu a prostredia vylepšeného o tieto moderné detekčné metódy. Okrem toho, tieto technológie prejavili potenciál aj v iných oblastiach ako je boj s koróziou a majú pred sebou budúcnosť.

Referencie

- [1] LYON S. 2016. Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know. *Researchgate*. DOI 10.1016/j.porgcoat.2016.04.030, s. 1-14, dostupné online: https://www.researchgate.net/publication/302553481_Advances_in_corrosion_protection_by_organic_coatings_What_we_know_and_what_we_would_like_to_know
- [2] GUI F., FURROW K., WILLIAMS J., COOPER K., KELLY R.G. 2005. Laboratory evaluations of corrosion prevention compounds for aircraft. *Researchgate*. s. 1-75, dostupné online: https://www.researchgate.net/publication/242439476_Laboratory_Evaluations_of_Corrosion_Prevention_Compounds_for_Aircraft
- [3] FORSYTH D.S., KOMOROWSKI J.P. 1998. Probability of detection of corrosion in aircraft structures. *Researchgate*. s. 1 – 9, dostupné online: https://www.researchgate.net/publication/44076249_Probability_of_Detection_of_Corrosion_in_Aircraft_Structures
- [4] INSERRA D. 2020. Screw relaxing detection with UHF RFID tag. *IEEE*. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2986891, s. 1-12, Dostupné online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9063480>
- [5] INBOK L., ZHANG A., CHANGGIL L., PARK S. 2016. A visualisation method od corrosion damage on aluminum plates using an Nd:YAG pulsed laser scanning system. *MDPI*. DOI: 10.3390/s16122150. s. 1 – 18, Dostupné online: <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2150>

- [6] MacSema Inc, Buttonmemory Product Catalog. [online] Dostupné online: <http://www.ruggedhardware.de/macsema/catalog.pdf> (citované 10.4.2021)
- [7] Boeing Corporation. [online]. Dostupné online: [boeing.com: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q1/2/](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q1/2/) (citované 14.4.2021)
- [8]

SYSTEM OPTIMIZATION DEMONSTRATOR FOR AIRCRAFT PROPULSION TECHNOLOGY USING FUEL CELLS

DEMONŠTRÁTOR SYSTÉMU OPTIMALIZÁCIE TECHNOLOGIE POHONU LETÚNOV POMOCOU PALIVOVÝCH ČLÁNKOV

Erik Uhlár
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
uhlár3@stud.uniza.sk

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
jozef.cernan@fpedas.uniza.sk

Abstract

In order to help accelerate transition to sustainable and eco-friendly personal transportation in a single engine piston aircraft category we've developed a simulation software platform of hydrogen powered aircraft for further research and development. Measurements were carried out on a real reference airplane Cessna 172 R and were crosschecked with an airplane flight manual as well as a computer flight simulation. We also focused on a software-based safety and economy optimization by components usage ratio improvement and inflight energy production and transfer limitations.

Keywords

Hydrogen fuel cell, Compressed gaseous hydrogen, Electric airplane propulsion

1. Úvod

Rýchlo rastúce nároky na ekologickosť a udržateľnosť osobnej dopravy sa vo veľkej miere dotýkajú aj letectva. V súčasnosti prevažuje trend testovania a výroby alternatívnych palív, avšak ani tie nie sú zárukou ekologickej čistoty. Je všeobecne známe, že vodík ako taký je dokonalým kandidátom pre „palivo“ budúcnosti. Úplná obnoviteľnosť z vody pomocou elektrickej energie zaručuje dotknutému odvetviu dlhodobú udržateľnosť. Jeho spaľovanie priamo neprodukuje škodlivé emisie, avšak vysoká teplota horenia môže vytvárať oxidy dusíka z prítomnej okolitej atmosféry. Pre zabezpečenie úplnej ekologickej čistoty bolo nutné do spaľovacieho priestoru privádzať čistý plynný kyslík, čo výrazne znevýhodňuje akékoľvek použitie. Navyše, premena tepelnej energie na mechanickú podlieha relatívne veľkým stratám, a tak spaľovanie samotného vodíka je z dôvodu rýchlosti horenia menej efektívne ako spaľovanie uhľovodíkových palív.

Samozrejmovou alternatívou je čisto elektrický pohon tvorený akumulátorom a elektromotorom. Použitie tejto koncepcie je výrazne citelnejšie hlavne v cestnej doprave, kde nie sú kladené až tak náročné hmotnostné limity. V letectve je teda táto koncepcia realizovateľná iba pre ľahké letúny s malou letovou výdržou. Nevýhodou je časová náročnosť nabíjania akumulátorov a tiež ich životnosť a špecifické podmienky prevádzky. Samotný elektromotor je však spravidla vysoko efektívnym činiteľom premeny elektrickej energie na mechanickú.

Veľmi výhodným riešením je výroba elektrickej energie z vodíka. Prebieha práve opačným procesom ku elektrolyze vody v palivovom článku s technológiou protónovej membrány.

Vodík by tak nepôsobil ako palivo, ale len ako nositeľ elektrickej energie, ktorá sa z neho premení v palivovom článku naspäť. Oproti akumulátoru má síce tento spôsob uskladnenia a premeny elektrickej energie nižšiu účinnosť, avšak je hmotnostne omnoho výhodnejší a „natankovanie“ vodíka nepotrvá výrazne dlhšie, než je v súčasnosti zaužívané. Takisto z ekologického hľadiska je tento proces absolútne čistý.

Riešenie otázky nahradenia spaľovacieho pohonu takouto technológiou sa pri súčasných možnostiach týka hlavne letúnov kategórie SEP s maximálnou vzletovou hmotnosťou do 1,5 tony.

Aj napriek hmotnostnej výhode palivových článkov od akumulátorov, nie je v súčasnosti možné dodávať požadovaný príkon z palivových článkov pre potreby elektromotora práve pre spomínané hmotnostné limity pohonnej jednotky, ktoré nie je možné dodržať ani použitím palivových článkov. Palivové články majú pevne stanovený výkon, pričom akumulátor nie. Naopak, akumulátor je obmedzený svojou kapacitou, čo palivový článok nie je. Palivový článok, ako element, nie je vhodné bezprostredne považovať za náhradu akumulátora. Obsadzuje špecifickú pozíciu pri premene energie a v spojení s akumulátorom sa črtá prevádzkyschopné riešenie.

Komplexnosť konceptu preto siaha ďaleko za hranice systémov tvorených jediným hlavným činiteľom.

2. Problematika stavby vodíkovej pohonnej jednotky

2.1. Nastavenie atribútov pohonnej jednotky

Z globálneho hľadiska je hranica schopnosti zostaviť vodíkovú pohonnú jednotku veľmi nejednoznačná. Závisí od

konštrukčnej kvality draka letúna, maximálnej vzletovej hmotnosti a účinnosti komponentov. V porovnaní so spaľovacím motorom môžu byť jej súčasti rozmiestnené efektívnejšie, avšak je hmotnostne ťažšia. V tomto smere je pravdepodobná úplne nová koncepcia uloženia súčastí pohonnej jednotky, a to hlavne z dôvodu tvaru, počtu a hmotnosti palivových článkov a tlakových nádob. Palivové články sú relatívne priestorovo náročné. Jednotlivo sa však dajú uložiť do vnútra krídla. V pôvodnom motorovom priestore tak vznikne miesto pre menič napätia, lítiový akumulátor a elektromotor. Tlakové nádoby budú umiestnené v zadnej časti letúna tak z bezpečnostných dôvodov, ako aj hmotnostného vyváženia.

Pre zabezpečenie čo najlepšieho pomeru výkonu ku hmotnosti a letovej výdrže ku výkonu pri zachovaní konštantnej hmotnosti pohonnej sústavy existuje práve jedno riešenie zostavy jednotlivých komponentov. Absencia kritických údajov o konštrukcii nového prispôbenaého draka, resp. neschopnosť ich prispôbovať pri existujúcich letúnoch znemožňuje použiť ideálnu zostavu, a tak je potrebné prikloniť sa k zachovaniu pomeru výkonu ku hmotnosti na úkor pomeru letovej výdrže ku výkonu. Táto skutočnosť posúva vodíkovú pohonnú jednotku takmer na hranicu nepoužiteľnosti pre malú letovú výdrž, hoci následné prevádzkové náklady a hlavne ekologickosť prevádzky sú jednoznačne v neprospech spaľovacieho motora.

Za účelom zachovania experimentálnej prevádzkyschopnosti je potrebné pre daný letún zostaviť vodíkovú pohonnú jednotku s rovnakým výkonom, aký by mal spaľovací motor. Keďže primárnym zdrojom príkonu sú vodíkové palivové články, spodná hranica ich výkonu je príkon potrebný pre cestovný režim. Príkon potrebný na doplnenie do požadovanej hodnoty plného výkonu pohonnej jednotky a časový interval vzletu a stúpania definuje množstvo energie, ktoré je potrebné dodať z lítiových akumulátorov. Následne, spravidla na úkor časti hmotnosti prevádzkového nákladu, sa podľa požiadavky na dolet určí veľkosť a počet tlakových nádob do maximálnej vzletovej hmotnosti.

2.2. Parametre výdrže a výkonu

Skonštruovaná pohonná jednotka by mala počas preddefinovaného a nemenného časového intervalu disponovať stabilným plným výkonom, a to za predpokladu, že akumulátor je plne nabitý. Po uplynutí intervalu však bude schopná dodávať iba znížený, avšak trvalý výkon. Je nepravdepodobné, že by letún po vyčerpaní energie z akumulátorov bol schopný, hoci aj obmedzene, stúpať.

Predpokladaná letová výdrž je priamo úmerne závislá na potrebnom výkone palivových článkov počas letu v cestovnom režime. Počas klesania dochádza k zníženiu nárokov na výkon pričom sa znižuje i spotreba vodíka.

2.3. Využitie potenciálov súčastí pohonnej jednotky

Okrem samotnej účinnosti jednotlivých komponentov je smerodajná i hodnota ich priemerného využitia počas letu. Pretože je vodíková pohonná jednotka výrazne hmotnostne znevýhodnená, kladieme dôraz na čo najoptimálnejšie a najvyššie využívanie jej súčastí.

Vplyvom nepresnej kompenzácie strát vzniká prebytok energetického potenciálu, ktorý počas letu s nastavením motora

v cestovnom režime nie je využitý. Podobne, po dostúpaní na cestovnú výšku môže v akumulátore zostať nevyužitá energia.

Výhodou elektrického pohonu a palubnej výroby energie je možnosť presmerovania elektrickej energie z palivových článkov medzi elektromotorom a akumulátorom. Nevyužitý potenciál palivových článkov môže produkovať elektrickú energiu pre nabíjanie akumulátora, čím predídeme nebezpečenstvu absencie výkonu v núdzových situáciách. Na druhej strane je možné šetriť vodík využitím zostávajúcej energie z akumulátora.

Nakoľko je všeobecne známe, že na výrobu 1 kilogramu vodíka spotrebujeme v elektrolyze omnoho viac energie, ako je energia v ňom obsiahnutá, dá sa povedať, že nabíjanie akumulátora počas letu je mimoriadne neefektívne práve z dôvodu ďalších strát v palivových článkoch. Nabíjanie akumulátorov na zemi z elektrickej siete predstavuje ekonomickejšiu alternatívu.

Je teda zrejme, že i výroba elektrickej energie nevyhnutnej pre okamžitý pohon letúna nie je tak ekonomická, ako by bol pohon tvorený len akumulátorom a elektromotorom. Z tohto dôvodu je zníženie výkonu palivových článkov a jeho kompenzácia zvýšnou energiou z akumulátora výhodná. Bezpečnosť letu však vyžaduje určitú úroveň, a preto nie je možné z akumulátora využiť všetku dostupnú energiu za účelom znižovania spotreby vodíka.

3. Referenčný letún

Pre potreby práce sme ako referenciu zvolili letún Cessna 172 R s motorom Lycoming IO-360-L2A. Maximálny výkon motora je približne 120 kilowattov [1], pričom maximálna vzletová hmotnosť letúna je 1111 kilogramov [2]. Pri maximálnom zaťažení je pomer výkonu k hmotnosti približne 0,108.

Súčet hmotností užitočného zaťaženia a spaľovacieho motora s ostatným príslušenstvom pohonnej sústavy referenčného letúna definuje hmotnostný limit vodíkovej pohonnej jednotky a nevyhnutného zaťaženia pre experimentálny let. Referenčný letún tak poskytuje približne 497 kilogramov [4].

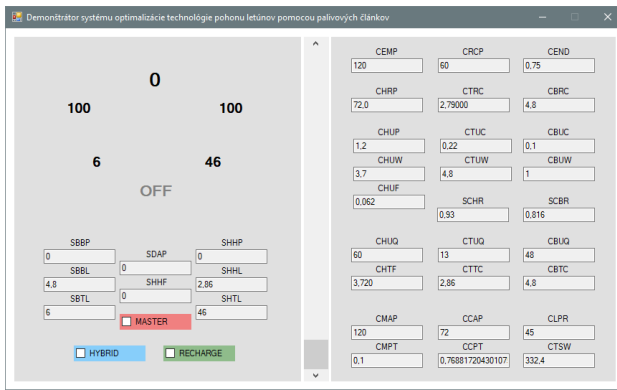
V rámci merania a spracovania výsledkov boli vykonané lety na tomto lietadle v skutočnosti i na počítačovom leteckom simulátore.

4. Simulačný počítačový program

Programové rozhranie je rozdelené na dve hlavné časti. Konfiguračnú vpravo a simulačnú vľavo. Posúvač v strede predstavuje plynovú páku.

Konfiguračná časť vytvára na základe informácií o jednotlivých komponentoch sústavu podľa zadaných požiadaviek na maximálny výkon, resp. výkon elektromotora, na maximálny trvalý výkon a na požadovanú letovú výdrž. Informuje používateľa o vytvorených kapacitách, výkonoch a časoch výdrže, ako aj počte jednotlivých použitých komponentov.

Simulačná časť poskytuje priestor pre testovanie pohonnej jednotky v ideálnych podmienkach, pričom je užívateľ informovaný o zostávajúcich časoch, kapacitách a aktuálnych výkonoch vo forme konkrétnych hodnôt, ale aj percent.



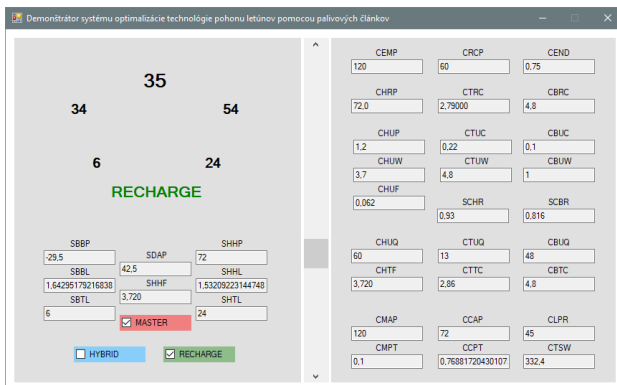
Obrázok 1: Simulačné programové rozhranie – základné zobrazenie. Zdroj: Autori.

5. Záver

Systém pracujúci takto jednoduchým princípom má mnoho nedokonalostí. Pre správne fungovanie pohonnej jednotky je dôležité vytvoriť a zdefinovať ďalšie riešenia optimalizácie a zabezpečovania bezpečnosti letu.

Kritická fáza nastáva pri pristáť, kde môže dôjsť k potrebe plného výkonu pri nezdarenom priblížení alebo opakovaní okruhu. Pohonná jednotka v takomto prípade nie je schopná dodať potrebný výkon, čo výrazne ohrozuje bezpečnosť letu.

Rezerva energie v akumulátore je definovaná jednou minútou dostupnosti plného výkonu a je možné ju využiť kedykoľvek, hoci aj počas vodorovného letu zvýšením požadovaného výkonu. V prípade prekročenia jej hranice je po znížení výkonu pod maximálny trvalý režim aktivované dobíjanie akumulátora zvyšným energetickým potenciálom palivových článkov. Počas klesania, priblíženia a pristátia bude prebiehať dobíjanie, aby sa zabezpečil dostatok časového limitu na stúpanie v ďalšom lete.

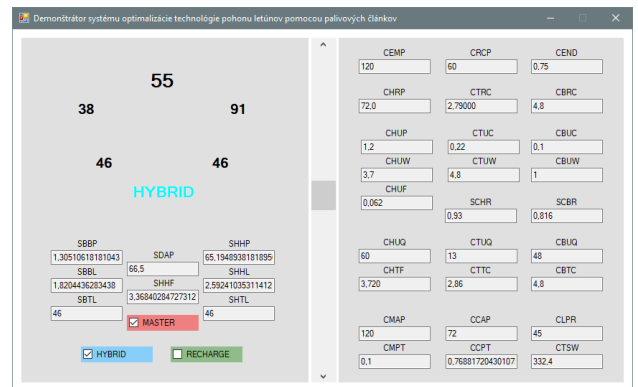


Obrázok 2: Simulačné programové rozhranie – dobíjanie pri klesaní. Zdroj: Autori.

V zmysle vyššie spomenutého, je v záujme efektivity využiť, prípadne využívať doposiaľ nevyčerpanú kapacitu akumulátora, a to hlavne pri výkonoch menších, ako je maximálny výkon palivových článkov, resp. maximálny trvalý režim.

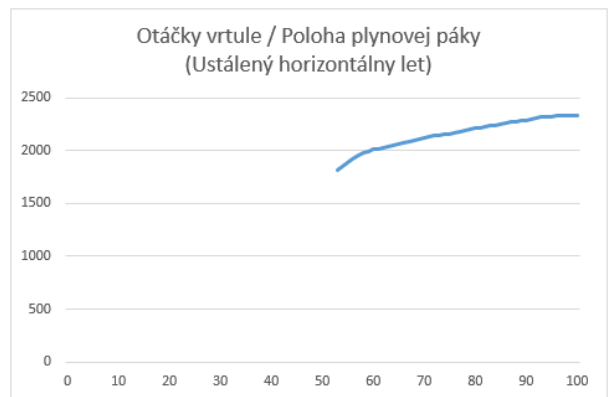
Touto optimalizáciou je hybridná prevádzka a je definovaná súčasným využívaním oboch súčastí v istom pomere, aj keď to nie je bezprostredne nutné. Proces pracuje na princípe využívania prebytkovej energie z akumulátora, čím sa znižuje výkonová požiadavka na palivové články. Uskutočnením tejto

optimalizácie dochádza nielen k ušetreniu vodíka, ale hlavne k predĺžovaniu životnosti pohonnej jednotky.



Obrázok 3: Simulačné programové rozhranie – hybridný režim. Zdroj: Autori.

Hybridný režim práce pohonnej jednotky je navrhnutý pre horizontálny ustálený let s cestovným nastavením výkonu. Hoci je výrobcom referenčného letúna stanovený cestovný režim minimálne 60 percent výkonu motora [3], daný letún je schopný vodorodne letieť aj s nastavením režimu na úrovni 55 percent. Proces využívania energie akumulátora za účelom šetrenia vodíka má význam práve v rozmedzí výkonu od 55 do 60 percent. Čím nižší výkon pohonnej jednotky, tým signifikantnejší je nárast letovej výdrže.



Obrázok 4: Graf rozmedzia výkonu v ustálenom horizontálnom lete. Zdroj: Vlastné meranie.

Referencie

- [1] Cessna 172R POH/AFM r. 1996 s. 1-4
- [2] Cessna 172R POH/AFM r. 1996 s. 1-6
- [3] Cessna 172R POH/AFM r. 1996 s. 4-26
- [4] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

CREATING STUDY MATERIALS – BEARINGS, SHAFTS, SPRINGS AND GEARS

TVORBA ŠTÚDIJNÍCH MATERIÁLOV – LOŽISKÁ, HRIADELE, PRUŽINY A PREVODY

Šimon Veselovský

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
veselovsky21@stud.uniza.sk

Michal Janovec

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

Abstract

The main goal of this article is to acquaint the reader with the topic of the author's bachelor's thesis. The article deals with the theoretical part of the creation of study material for bearings, shafts, springs and gears. Its goal is to acquaint the reader with the topic. The article introduces the mentioned machine parts, their more detailed description and practical examples of use in practice. Each chapter contains, in addition to the description, also graphic examples of the best possible use of the material in teaching. The aim is to create a comprehensive study material with practical examples in the Slovak language.

Keywords

bearing, maintenance, mechanism, shaft, spring, transmission,

1. Úvod

Letecká doprava sprístupňuje vzdialené trhy a poskytuje globálne pokrytie pre celý svet, aj preto je najvyužívanejšou formou prepravy na väčšie vzdialenosti. Aj keď ide o najmladší spôsob prepravy, ktorý u mnohých ľudí stále vyvoláva strach z neznáma je letecká doprava je každým rokom populárnejšia. Dôvodov pre jej rozšírenie je viacero, spomenúť môžeme napríklad čoraz dostupnejšie ceny letenia a zvyšovanie komfortu pre cestujúcich, snaha o zvýšenie a doletu a kapacity lietadiel, aj pre to sú kladené vysoké nároky na kvalitu a spoľahlivosť každej súčiastky lietadla.

Keďže sa letecká preprava prevádzkuje vo vzduchu má prípadne nešťastie takmer vždy tragické následky. Pri každej prehliadke sa kontroluje stav všetkých častí, no napriek tomu katastrofu často spôsobí najmenšia chyba či nepovšimnutý detail. Vzhľadom na túto skutočnosť je spoľahlivosť jednotlivých súčiastok lietadla jedným z kľúčových faktorov, preto si návrh vhodných súčiastok vyžaduje vysokú pozornosť. Celý systém sa skladá z malých častí, ktoré sú mimoriadne dôležité aj keď ich často ani nevidíme. Tento článok sa venuje práve takýmto komponentom, akými sú ložiská, hriadele, pružiny a prevody.

Zámerom tejto práce je bližšie oboznámiť čitateľa s problematikou ložísk, hriadeľov pružín a prevodov, ich funkciami a využitím v prax, za účelom vzdelávania. V strojárskych literatúre je problematika ložísk, hriadeľov, pružín a prevodov pomerne dobre popísaná, avšak tento článok sa zameriava na analýzu existujúcich dostupných zdrojov a popisuje problematiku z pohľadu vzdelávania v leteckej doprave. Pre lepšie porozumenie je každý komponent popísaný a zobrazený samostatne, tiež je celý článok písaný v slovenskom jazyku, nakoľko mnoho dôležitých výrazov a informácií spomínaných v odborných textoch je v slovenskom jazyku veľmi málo.

V tomto článku sa postupne zoznámime s jednotlivými časťami, ich rozdelením, stavbou, kontrolou a využitím, jednotlivých komponentov.

2. Ložiská

Ložisko je strojárská súčiastka, slúžiaca na prenos síl medzi pevnými a pohyblivými súčiastkami mechanického stroja. Každé ložisko je konštruované tak, aby minimalizovalo trenie vznikajúce medzi pevnými a pohyblivými časťami stroja. Rozoznávame mnoho druhov ložísk, základné delenie sú klzné a valivé ložiská.

2.1. Klzné ložiská

Klzné ložisko vymedzuje polohu dvoch stýkajúcich sa častí mechanizmu, pri ktorých vzájomnom pohybe vzniká klzné trenie. Klzné ložiská sú pomerne lacné, znesú nárazy a preťaženie, ich údržba ako aj montáž a demontáž je veľmi jednoduchá, umožňujú presné uloženie hriadeľa a majú tichý chod. Spotrebujú väčšie množstvo mazadla ako iné druhy ložísk, pri nedostatočnom mazaní dochádza k zadretiu vo väčšej miere ako pri valivých ložiskách



Obrázok 1: Kľzné ložisko. Zdroj: [https://www.schaeffler.sk/content.schaeffler.sk/sk/products-and-solutions/industrial/].

2.2. Valivé ložiská

Valivé ložisko je súčiastka, ktorej história sa vyvíja už od vynájdenia kola. Tieto ložiská zabezpečujú vzájomnú polohu pevných a otáčavých súčastí zariadenia a prenášajú zaťaženie z hriadeľa na ostatné časti stroja. Medzi pohybujúcimi sa plochami hriadeľa a ložiská vzniká trenie. Princíp valivého ložiska spočíva v použití valivých telies, ktoré zabezpečujú valivé trenie a oddeľujú pevnú a pohyblivú plochu. Ako valivé telieska sa zvyčajne používajú guľôčky, valčeky alebo ihly. Takéto ložiská nie sú vhodné pre veľmi vysoké obvodové rýchlosti, sú hlučnejšie ako kľzné ložiská, spotrebujú málo mazadla a tiež vznikajú malé straty trením.



Obrázok 2: A- guľôčkové valivé ložisko, B- valčekové valivé ložisko, C- ihlové valivé ložisko. Zdroj: [https://www.schaeffler.sk/content.schaeffler.sk/sk/products-and-solutions/industrial/].

2.3. Manipulácia a mazanie ložísk

Správna manipulácia s ložiskom je veľmi dôležitá. Znečistenie, vlhkosť a vibrácie poškodia ložisko aj v statickom stave. Je preto nutné vyvarovať sa podmienkam, ktoré by mohli mať nepriaznivý vplyv na stav ložiska. Pri montáži ložiska je nutné dodržať postupy stanovené jeho výrobcom. Správnym mazaním ložiska čiastočne predídeme negatívnym vplyvom na ložisko.

Na mazanie ložiska používame výhradne mazivo odporúčané výrobcom. Použitie tlakového nástroja pre mazanie ložísk alebo vhodného adaptéru je najlepšia metóda k vyplaveniu nečistôt, ktoré ostali v ložisku po vyčistení.



Obrázok 3: Nástroj pre tlakové mazanie ložiska. Zdroj: [6].

2.4. Využitie ložísk v letectve

Ložisko je v letectve často využívaná súčiastka. Ložiská sú súčasťou takmer každého systému v lietadle ale aj v pozemných letiskových zariadeniach. Táto kapitola sa venuje možným príkladom využitia ložísk v leteckej technike.

2.4.1. Ložiská v leteckom turbínovom motore

Hlavné ložiská v leteckom turbínovom motore plnia dôležitú funkciu podpory hlavného hriadeľa motora. Počet potrebných ložísk je závislý od konkrétneho typu motora, všeobecne však platí že počet rastie s nárastom veľkosti a váhy motora. Na dĺžku motora má priami vplyv typ použitého kompresora. Minimálne tri ložiská sú potrebné k podpore hriadeľa turbínového motora. V niektorých prípadoch je potrebné použiť viac ložísk a to v prípade nadmernej dĺžky motora alebo ak sú ložiská vystavené vibráciám. Pri mnohých nových turbínových motoroch sa valivé ložiská postupne nahrádzajú hydraulickými ložiskami, ktorých vonkajší krúžok je obalený tenkým filmom maziva. Tieto ložiská tak znižujú vibrácie prenášané do motora.



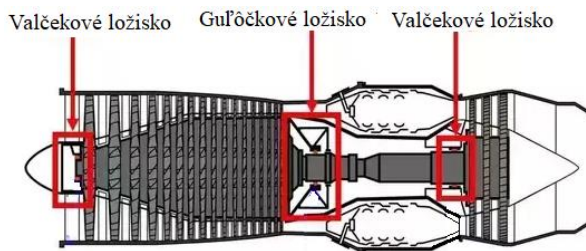
Obrázok 12: Hydraulické ložisko. Zdroj: [https://tiltonracing.com/product/ultra-low-profile-8000-series-hydraulic-release-bearing/].

Guľôčkové ložiská sú zvyčajne umiestnené na hriadeľ kompresora alebo turbíny tak, aby absorbovali akékoľvek radiálne alebo axiálne sily. Valčekové ložiská majú väčšiu pracovnú plochu, preto lepšie pohlcujú radiálne ako aj axiálne

zaťaženie. Ložiská využívané v turbínovom motore sú konštruované podľa požiadaviek na radiálne aj axiálne zaťaženie pri vysokých otáčkach rotora turbínového motora. Kryt ložiska obsahuje olejové tesnenie, aby nedochádzalo k úniku maziva z ložiska. Prostredníctvom tohto krytu sa tiež dodáva mazivo do ložiska pomocou rozprašovacích dýz.

Valivé ložisko je uložené v telese ložiska a môže mať funkciu samočinného vyrovnania. Ak je ložisko samonosné, je obvykle uložené v guľovom krúžku. Toto umožňuje hriadeľu určitý radiálny pohyb bez prenosu napätia na vnútorný krúžok ložiska.

Úložnú plochu ložiska na hriadeľ obvykle zaisťuje opracovaný čap na príslušnom hriadeľi. Ložisko je obvykle zaistené v svojej polohe oceľovým poistným krúžkom alebo iným vhodným zaisťovacím komponentom. Hriadeľ rotora tiež poskytuje zodpovedajúcu plochu pre olejové tesnenie v ložiskovej skrini.



Obrázok 5: Umiestnenie hlavných ložiskových skriň. Zdroj: [<https://www.flight-mechanic.com/gas-turbine-engine-bearings-and-seals/>].

2.4.2. Ložiská v leteckom piestovom spaľovacom motore

Ložisko v spaľovacom motore podporuje mechanické prvky a zaisťuje ich pohyb relatívne k inému prvku s minimálnymi stratami energie. Rotujúce komponenty spaľovacích motorov sú vybavené klznými ložiskami. Piestové motory sa vyznačujú cyklickým zaťažením ich častí vrátane ložísk. Takýto charakter zaťaženia je výsledkom striedavého tlaku spaľovania zmesi vo valcoch. Valivé ložiská, v ktorých je zaťaženie prenášané na relatívne malú plochu povrchu krúžku, tieto podmienky zaťaženia spaľovacích motorov nevydržia a došlo by k ich poškodeniu. V motoroch s vnútorným spaľovaním môžu preto fungovať iba klzná ložiská, zabezpečujúce rozloženie pôsobiaceho zaťaženia na relatívne širokú plochu.

Hlavné ložiská kľukového hriadeľa podopierajú kľukový hriadeľ a zabezpečujú jeho otáčanie. Hlavné ložiská sú uložené v kľukovej skrini. Hlavné ložisko sa skladá z dvoch častí a to z hornej a dolnej. Horná časť hlavného ložiska má obvykle na vnútornom povrchu olejovú drážku. Hlavné ložisko má otvor na prívod mazadla do plniacich otvorov v kľukovom hriadeľi. Niektoré z hlavných ložísk môžu mať prvky axiálneho ložiska pohlcujúce axiálne zaťaženie a zabraňujúce pohybom pozdĺž osi kľukového hriadeľa. Hlavné ložiská tohto typu sa nazývajú prírubové valivé ložiská.

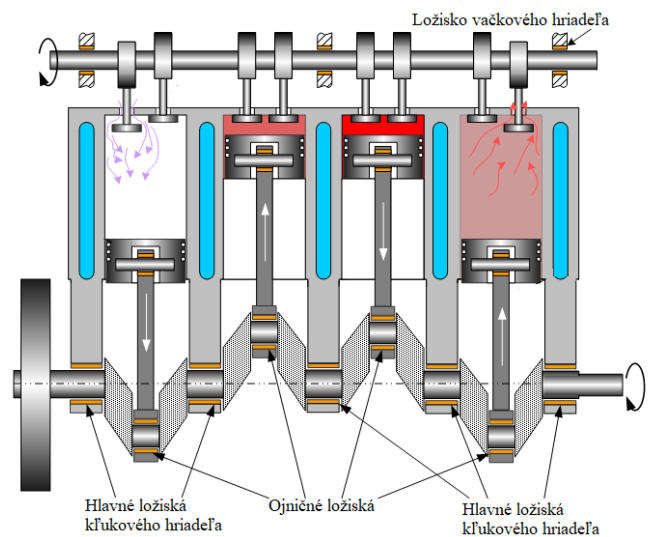
Ojničné ložiská umožňujú rotačný pohyb kľukového čapu vo vnútri ojnice, ktorý prenáša cyklické zaťaženie pôsobiace na piest. Ojničné ložiská sú namontované na väčšom konci ojnice. Ložisko sa skladá z dvoch častí, ktoré sú obvykle navzájom zameniteľné.

Malé koncové puzdrá zabezpečujú pohyb piestu relatívne k ojnici spojenej s piestom piestným čapom. Koncové puzdrá sú

namontované na menšom konci ojnice. Malé koncové puzdrá sú cyklicky zaťažované piestom tlačným striedavým tlakom spalín.

Ložiská vačkového hriadeľa podopierajú vačkový hriadeľ a zaisťujú jeho otáčanie.

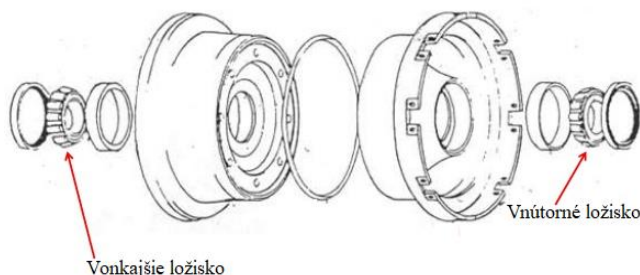
Ako všetky ložiská tak aj tie v spaľovacom motore je nutné mazať. Mazanie ložísk motora výrazne znižuje koeficientu trenia, odvádza teplo generované trením, odstraňuje cudzie častice z trecích povrchov. Ložiská motora spravidla pracujú v hydrodynamických režimoch trenia. Hydrodynamické trenie implikuje prítomnosť nepretržitého mazacieho filmu medzi povrchom ložiska a čapom. Pre správnu prácu ložísk motora je potrebné neustále dodávanie maziva v dostatočnom množstve, čo zabezpečuje mazacia sústava.



Obrázok 6: Ložiská piestového spaľovacieho motora. Zdroj: [<https://balikumicom.wordpress.com/2017/02/24/crankshaft-motion/>].

2.4.3. Ložiská v podvozku lietadla

Podvozok lietadla je jedna z jeho kľúčových častí. Aby podvozok plnil svoj účel je opatrený kolesom, ktoré zabezpečuje bezpečný pohyb po letisku, vzlet a pristátie. Na tieto ložiská sú kladené vysoké požiadavky pri veľkých zaťaženiach a silách pôsobiacich najmä počas vzletu a pristátia. Počas letu v hladine sú tieto ložiská v kľudovom stave, kde nie sú namáhané, no pôsobia na ne vonkajšie sily. Pre svoju pevnosť a relatívne veľkú ložnú plochu sú na tieto účely používané valčkové kužeľové ložiská. Úlohou týchto ložísk je zabezpečiť rotačný pohyb kolies vzhľadom ku konštrukcii podvozkového mechanizmu. Každé koleso obsahuje dve valivé ložiská, vonkajšie a vnútorné. Hriadeľ je pevne upevnený vo vnútri ložiska a zároveň tvorí pevnú súčasť podvozkového konštrukcie. Vonkajší krúžok ložiska je pevne spojený s diskom kolesa, čo zabezpečuje voľný rotačný pohyb kolesa okolo osi hriadeľa. Tieto ložiská sú veľmi namáhané, preto je dôležitá ich pravidelná kontrola a údržba.



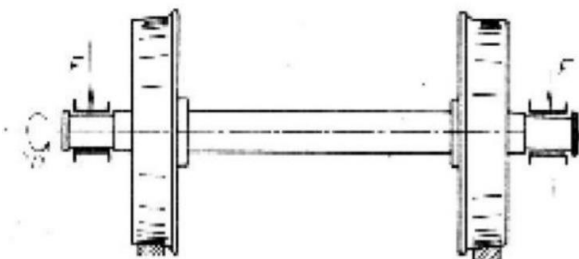
Obrázok 7: Ložiska kola podvozku. Zdroj: [https://www.aircraftsystemstech.com/p/landing-gear-support.html].

3. Hriadele

Hriadeľ je valcovitá strojárnská súčiastka umožňujúca prenos rotačného pohybu, alebo krútiaceho momentu z jedného miesta na druhé. Zvyčajne sa naň napájajú iné súčasti strojov, ktoré sa s ním otáčajú okolo svojej osi.

3.1. Nosné hriadele

Nosný hriadeľ je možné považovať za nosník na dvoch podperách, ktorý je zaťažený v jeho strede a v ňom je najväčší ohybový moment. Rozlišujeme nosné hriadele pevné a otočné. Pevné hriadele sú pevne uložené v ráme stojana a tvoria vedenie otáčajúcich sa súčastí. Otočné hriadele, sa spolu s pevne uloženými súčiastkami otáčajú v ložiskách. Podľa prierezu rozlišujeme plné a duté nosné hriadele. Vyrábajú sa najmä z ocele na odliatky alebo neušľachtilých konštrukčných ocelí triedy 11.

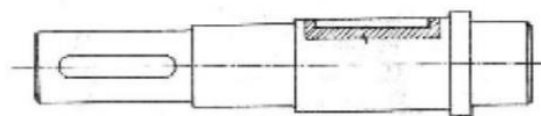


Obrázok 8: Nosný hriadeľ – náprava železničného vagónu. Zdroj: [https://cloud2q.edupage.org/cloud/UT_CST_2_-_Hriadele_capy_s_obsahom.pdf?z%3A8iG07jqEWIY52NDhTf0bBIRiff4d bDPSr63gNWfgVmJ9M2s0mGHWkDn1LiSNP1P].

3.2. Pohybové hriadele

Prenášajú otáčavý pohyb a zároveň aj krútiaci moment z hnacieho člena na hnaný. Sú namáhané predovšetkým na krútenie a zároveň na ohyb. Hriadeľ je uložený v dvoch ložiskách, jedno ložisko na každom jeho konci. Podľa prierezu rozlišujeme plné a duté pohybové hriadele. Tieto hriadele sa v praxi využívajú v rôznych tvaroch. Základné používané tvary sú priame hladké, kľukové, vačkové, ohybné, drážkové a kľbové. Pohybové hriadele sa vyrábajú z ocelí triedy 11 350 až 11 600, pre výkonné stroje trieda 10 040 a na špeciálne účely aj z legovaných ocelí triedy 14, 15, 16.

Konce hriadeľov sú normalizované valcového alebo kužeľového tvaru. Prechody medzi priermi hriadeľa nemôžu mať nebezpečné zoslabenie alebo ostrý prechod, preto sa zaoblujú.



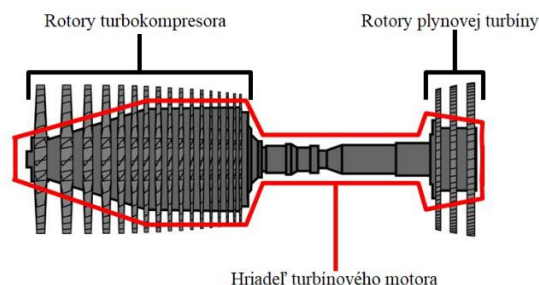
Obrázok 9: Priami hladký hriadeľ. Zdroj: [https://cloud2q.edupage.org/cloud/UT_CST_2_-_Hriadele_capy_s_obsahom.pdf?z%3A8iG07jqEWIY52NDhTf0bBIRiff4d bDPSr63gNWfgVmJ9M2s0mGHWkDn1LiSNP1P].

3.3. Využitie hriadeľov v letectve

Hriadele sú v letectve rovnako často využívané súčiastka ako ložiská. Keďže v zásade platí, že hriadeľ je vždy uložený v ložisku môžeme skonštatovať, že využitie hriadeľov je rovnaké ako využitie ložisk, preto táto kapitola práce bude bližšie rozoberať využitie hriadeľov v leteckých motoroch a v kolese podvozku lietadla, pre znázornenie vzájomnej súčinnosti hriadeľov a ložisk.

3.3.1. Hriadeľ v leteckom turbínovom motore

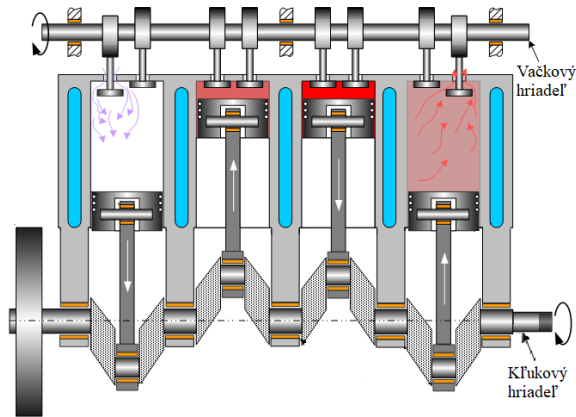
Hriadeľ spája turbínu s kompresorom a prechádza takmer celou dĺžkou motora. Môžu byť použité až tri sústredné hriadele, ktoré sa otáčajú nezávislými rýchlosťami, s príslušným počtom turbín a kompresorov. Vzduch k plynovej turbíne prúdi cez hriadeľ od kompresora. Tento hriadeľ je tvarovaný podľa potreby konkrétneho motora, s príslušnými potrebnými ložnými plochami pre ložiská a pre montáž rotorov plynovej turbíny a turbokompresora.



Obrázok 10: Hriadeľ turbínového motora. Zdroj: [https://www.flight-mechanic.com/gas-turbine-engine-bearings-and-seals/].

3.3.2. Hriadele v leteckom spaľovacom motore

V spaľovacom motore rozlišujeme vačkový a kľukový hriadeľ.



Obrázok 11: Hriadele leteckého piestového spaľovacieho motora. Zdroj: [https://balikumicom.wordpress.com/2017/02/24/crankshaft-motion/].

Vačkový hriadeľ v leteckom piestovom spaľovacom motore

V piestových motoroch sa vačkový hriadeľ používa na ovládanie sacích a výfukových ventilov. Vačkový hriadeľ sa skladá z tyče kruhového prierezu, ktorá vedie po celej dĺžke bloku, s niekoľkými vačkami, čo sú disky s vyčnievajúcimi vačkovými lalokmi po celej svojej dĺžke, jedným pre každý ventil. Vačka núti ventil otvárať zatlačením na ventil, keď sa otáča. Medzitým pružina vyvíja napätie, ktoré ťahá ventil do jeho zatvorenej polohy. Keď lalok dosiahne najväčší posuv na tlačnej tyči, ventil je úplne otvorený. Ventil je uzavretý, keď ho pružina stiahne dozadu a vačka naň netlačí.



Obrázok 12: Vačkový hriadeľ. Zdroj: [http://mixmotor.eu/9800/vackovy-hriadel-minulost-sucasnost-buducnost-cast-i].

Kľukový hriadeľ v leteckom piestovom spaľovacom motore

Kľukový hriadeľ poháňaný kľukovým mechanizmom, ktorý sa skladá zo série kľúk a kľukových čapov, ku ktorým sú pripojené ojnice motora. Je to mechanická časť schopná vykonať prevod medzi vratným pohybom a rotačným pohybom. V motore prevádza vratný pohyb piestu na rotačný pohyb. Aby sa mohol uskutočniť prevod medzi dvoma pohybmi, je kľukový hriadeľ, špeciálne tvarovaný do tvaru za sebou idúcich kľúk. Spravidla je pripojený k zotrvačníku, aby sa znížila pulzačná charakteristika cyklu motora. Niekedy je použitý aj torzný, alebo vibračný tlmič

na opačnom konci, aby sa znížili torzné vibrácie, ktoré často pôsobia pozdĺž kľukového hriadeľa.



Obrázok 13: Kľukový hriadeľ motora Junkers-Jumo 211B. Zdroj: [https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1939/1939-1-%20-%20201250.html].

3.3.3. Hriadeľ kolesa podvozku lietadla

Náprava podvozku lietadla je špeciálne tvarovaný hriadeľ, pevne upevnený ku konštrukcii podvozku. Uloženie kolesa pomocou ložiska na náprave je bližšie popísaná v tejto práci v kapitole ložísk.



Obrázok 14: Náprava podvozovej konštrukcie. Zdroj: [https://www.aircraftsystemstech.com/p/landing-gear-support.html].

4. Pružiny

Pružina je strojná súčiastka, umožňujúca elastickú deformáciu v jednom alebo viacerých smeroch. Deformáciu spôsobuje pôsobenie sily, ale keď sila prestane pôsobiť pružina sa sama

vracia do pôvodného stavu. Pružiny sa hlavne používajú na akumuláciu alebo zachytávanie pôsobiacich síl, či na pružné spojenie iných súčastí. V konštrukcii lietadiel sú pružiny často používanou súčiastkou. Na zabezpečenie dostatočnej bezpečnosti je nutné pružiny testovať pred samotným uvedením do prevádzky ako aj ich pravidelne kontrolovať počas prevádzky.

4.1. Kontrola a testovanie pružín

Pružiny vo všeobecnosti nevyžadujú náročnú údržbu. Tie ktoré vytvárajú oblúky v exponovaných oblastiach môžu časom začať korodovať. Pružiny vystavené vysokým teplotám sa môžu prehriať a stratiť svoju pružnosť, čím stratia potrebnú mechanickú vlastnosť na výkon svojej funkcie, pre ktorú boli navrhnuté.

Je dôležité pravidelne a starostlivo kontrolovať všetky dôležité pružiny a presvedčiť sa, či nejavia známky korózie alebo prehriatia. Na pružinách v statickom stave často dochádza ku korózií a znižuje sa jej maximálne možné zaťaženie. V prípade korózie pružiny prenášajúcej cyklické zaťaženie vedie kombinácia korózie a tohto zaťaženia k strate tzv. únavovej pevnosti.

Prehrievanie sa prejavuje ako pľuzgier na povrchu pružiny a v extrémnych prípadoch dochádza až k zmene farby kovu pružiny. Pri zistení prehriatia pružiny je treba predpokladať, že daná pružina nie je vhodná pre navrhovaný účel.

V niektorých prípadoch je nutné porovnávať kontrolovanú pružinu s obrázkom alebo grafom, aby sa zistilo, či je vzhľadom na svoj stav vhodná pre ďalšie fungovanie. Kontrola niektorých pružín sa vykonáva pravidelné v určitom časovom intervale, zatiaľ čo iné pružiny sa kontrolujú príležitostne. To znamená, že napríklad pri demontáži brzdového strmeňa kvôli jeho generálnej oprave sa kontrolujú aj príslušné pružiny.

Najbežnejšia kontrola vinutej pružiny je jej statické meranie a meranie jej dĺžky. Výrobca zverejňuje presný rozmer dĺžky pružín v nezaťaženom stave s malým rozsahom tolerancie. Servisný technik presne odmeria dĺžku kontrolovanej pružiny a výsledok merania porovnáva so zverejneným údajom. Ak je rozmer v medziach tolerancie pružina sa vráti do prevádzky, v opačnom prípade je nutná jej výmena.

Ďalšou bežnou kontrolou pri údržbe je kontrola zaťaženia. Táto kontrola sa vykonáva na pružinách, ktoré sa využívajú na kritickejších pozíciách, ako napríklad pružiny ventilov piestového motora. Na túto kontrolu sa používa špeciálne skúšobné zariadenie na zaťaženie pružiny tlakovým, ťahovým alebo krútiacim zaťažením, kde zistíme údaje o jej zaťažení a hodnoty priebehov kontroly.

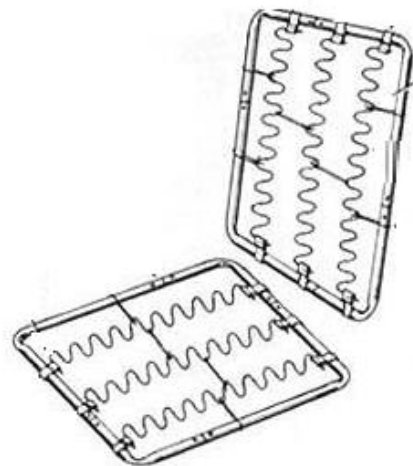


Obrázok 15: Zariadenie na skúšku stlačenia pružiny. Zdroj: [6].

4.2. Využitie pružín v letectve

Keď uvidíte obrovský zovňajšok lietadla, tak je ľahké prehliadnuť skutočnosť, že státisíce drobných častí tvoria tento neuveriteľný technický počín. Jedným z kľúčových komponentov, ktoré pravdepodobne nebudete brať do úvahy je súčiastka, bez ktorej by lietadlo jednoducho nemohlo fungovať a tou je skromná pružina. Táto kapitola sa venuje bližšiemu popisu časti lietadla, kde sa pružiny využívajú najčastejšie.

Najčastejšie používanými pružinami sú pružiny v sedadlách komerčných dopravných lietadiel. S týmito pružinami prichádza do kontaktu každý cestujúci a zabezpečujú komfortnejšie sedenie počas letu.



Obrázok 16: Pružiny v sedačke lietadla. Zdroj: [<https://www.eaa.org/eaaircraft-building/BuilderResources/while-youre-building/building-articles/cockpit-and-cabin-interior/homebuilt-aircraft-interiors-part-3>].

Pružiny sa využívajú v mechanizme uzatvárania dverí úložného priestoru nad hlavou cestujúceho. Bez pružín by boli skrinky nad hlavou dosť nebezpečné. Keď uvoľníte háčik a

otvoríte skrinku všimnete si, že dvere skrinky sa uvoľňujú pomalou rýchlosťou, za to môžu svorky a pružiny.



Obrázok 17: Pružinový mechanizmus dvierok úložného priestoru nad hlavou cestujúceho. Zdroj: [<https://www.europeansprings.ie/springs-in-aircrafts/>].

Jedným z najdôležitejších bezpečnostných prvkov na palube lietadla sú dvere lietadla. Tu pružiny slúžia hlavne ako súčiastka mechanizmu otvárania a zatvárania dverí.



Obrázok 18: Pružiny v mechanizme otvárania dverí na palube lietadla. Zdroj: [<https://www.europeansprings.ie/springs-in-aircrafts/>].

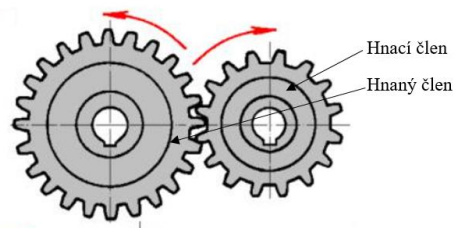
5. Prevody

Prevod je mechanizmus určený na premenu (prevod) pohybov a s tým aj premenu síl a momentov. Prevodový mechanizmus sa skladá najmenej z troch členov, pričom jeden z členov je skriňa, rám alebo stojan, tento člen zachytáva reakčné sily alebo momenty, ktoré vznikajú pri premene pohybov. Člen, ktorý tento mechanizmus poháňa sa nazýva hnací alebo vstupný. Počet hnacích členov je rovný počtu stupňov voľnosti

mechanizmu. Všetky ostatné členy mechanizmu sú hnané. Hnaný člen, ktorý vykonáva výsledný žiadaný pohyb sa nazýva výstupný člen. V lietadle sa používajú početné prevodové zariadenia, z ktorých najvýznamnejšia je redukčná prevodovka medzi motorom a vrtuľou. Prevody rozlišujeme priame, do tejto skupiny patria ozubené a trecie prevody a druhou skupinou sú prevody nepriame, kde zaraďujeme remeňové, reťazové a lanové prevody.

5.1. Priame prevody

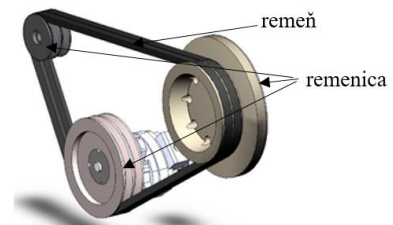
Priame prevody nedisponujú žiadnym vloženým členom, vždy sa jedná o priami kontakt dvoch alebo viacerých členov prevodu.



Obrázok 19: Jednoduchý ozubený prevod. Zdroj: [<https://www.slideserve.com/salome/prevody>].

5.2. Nepriame prevody

Nepriame prevody nazývané aj prevody s vloženým členom, ako vložený člen vystupuje remeň, reťaz alebo lano. V závislosti od vloženého člena je pomenovaný aj samotný prevod. Vložený člen zabezpečuje prenos síl a pohybov medzi dvoma rotačnými časťami stroja.



Obrázok 20: Remeňový prevod. Zdroj: [Borovski. 2005. [online] dostupné na internete: <https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98emenice>].



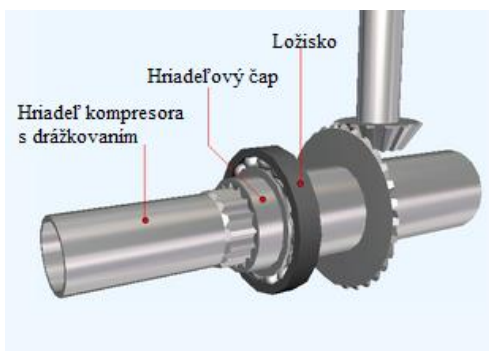
Obrázok 21: Remeňový prevod piestového motora na lietadle. Zdroj: [6].

5.3. Využitie prevodov v letectve

Prevody sú ďalšou z kľúčových súčasti lietadla. Prevody transformujú a prenášajú každý pokyn z kabíny lietadla pomocou príslušných mechanizmov, až na výsledný pohyb komponentu. Toto zabezpečuje napríklad ovládanie smerového, či výškového kormidla, vysúvanie a zasúvanie podvozku alebo ovládanie klapiek na krídle lietadla.

V tejto kapitole si priblížime funkciu doplnkovej prevodovky na prenos síl do príslušenstva leteckého turbínového motora. Doplnková prevodovka poskytuje energiu pre hydraulické, pneumatické a elektrické systémy, ktoré sa používajú v motore aj v lietadle. Používa sa tiež na pohon palivových čerpadiel, olejových čerpadiel a rôznych ďalších zariadení potrebných na spoľahlivý chod motora. Pohon prídavnej prevodovky sa zvyčajne uskutočňuje z hriadeľa vysokotlakového kompresora cez vnútornú prevodovku. Potom sa prechádza do externej prevodovky, ktorá zaisťuje pohon príslušenstva a štartovacieho motora.

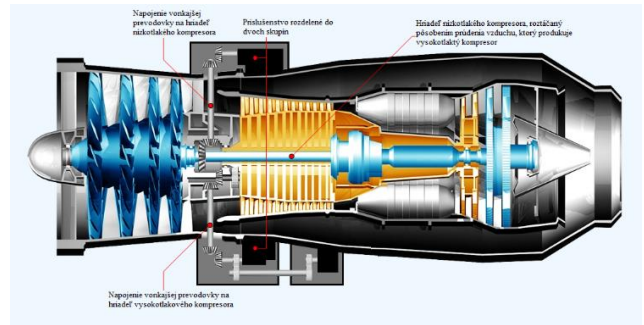
V hriadeli kompresora je drážka, okolo ktorej je uložený čap hriadeľa, ktorý má vnútorne ozubenie zodpovedajúce vzoru drážok v hriadeli kompresora. Skutočnosť, že sa drážkovaný hriadeľ môže axiálne pohybovať, zatiaľ čo čap hriadeľa je pevne držaný v správnej polohe pomocou ložiska, zaisťuje, že zuby ozubeného kolesa nestratia vzájomný kontakt s drážkami na hriadeli.



Obrázok 22: Uloženie hriadeľového čapu na hriadeli kompresora. Zdroj: [https://gas-turbines.weebly.com/gear-boxes--accessory-drives.html].

Na rozloženie zaťaženia príslušenstva sa v niektorých prípadoch rozdeľuje prevodovka na dve menšie samostatné prevodovky. Druhý radiálny hriadeľ je napojený na hriadeľa kompresora a slúži na pohon druhej vonkajšej prevodovky. Tieto dva systémy prevodovky umožňujú rozdelenie príslušenstva do dvoch menších skupín, čím sa prekonávajú ťažkosti s obmedzeným priestorom okolo motora.

Počas štartovania motora namiesto toho, aby bola prevodovka poháňaná motorom, poháňa prevodovka motor a štartér otáča hriadeľ kompresora. Príslušenstvo špecifické pre prevádzkové potreby motorov, ako sú olejové a palivové čerpadlá, je umiestnené na prevodovke poháňanej hriadeľom vysokotlakového kompresora.



Obrázok 23: Ukážka dvoch vonkajších prevodoviek leteckého turbínového motora. Zdroj: [https://gas-turbines.weebly.com/gear-boxes--accessory-drives.html].

6. Záver

Cieľom tvorby tohto článku bolo predstavenie strojných súčiastok – ložísk, hriadeľ, pružiny a prevody. V článku sú zhromaždené všetky základné informácie z oblasti ložísk, hriadeľov, pružín a prevodov, ktoré môžu čitateľom zjednodušiť štúdium, vyhľadávanie informácií alebo pomôcť pochopiť základné princípy problematiky pre praktické využitie. Celý článok je tvorený v slovenskom jazyku ako pomôcka pre študentov.

Predkladaný článok poskytuje čitateľovi informácie všeobecnej teórie. Článok je rozdelený na kapitoly, kde každá z kapitol bližšie rozoberá jednu z daných súčiastok. Na začiatku každej kapitoly je čitateľ oboznámený so všeobecnou teóriou a základným delením jednotlivých súčiastok. Každá kapitola bližšie popisuje kontrolu a údržbu danej súčiastky. Ako je všeobecne známe lietadlo je komplexné zariadenie, obsahujúce množstvo systémov a súčiastok, preto sa závere každej kapitoly čitateľ oboznámi s príkladom využitia danej súčiastky v praxi.

Výstup tohto článku je syntéza získaných materiálov a vytvorenie uceleného základného materiálu v slovenskom jazyku.

7. Referencie

- [1] IKRINSKÝ, A. 1994. *Mechanické a hydraulické prevody*. Bratislava: vydavateľstvo STU, 1994. 172s. ISBN 80-2271-855-6.
- [2] JANČINA, J. – PEKÁREK, F. 1987. *Mechanika II - Kinematika*. Bratislava: vydavateľstvo Alfa, 1987. 336s. ISBN 063-556-87.
- [3] BARTOŠ, J. a kol. 1972. *Zbierka konštrukčných úloh z časti strojov. II. vydanie*. Bratislava: vydavateľstvo Alfa, 1972. 584s. ISBN 63-365-78-2.
- [4] BARTOŠ, J. a kol. 1972. *časti strojov. II. a III.* Bratislava: vydavateľstvo Alfa, 1972. 584s. ISBN 63-381-72.
- [5] KRÁL, Š. – SUCHANSKÝ, M. – KRIŽAN, J. 1991. *Stavba a prevádzka strojov*. Bratislava: vydavateľstvo Alfa, 1991. 391s. ISBN 80-05-00780-9.
- [6] Aircraft Technical Book Company LLC. 2016. EASA Part- 66. Aviation Maintenance Technician Certification Series. Module 07A. 2016. 527s. ISBN 978-194114039.

- [7] Engine bearing failure [online]. Dostupné na internete: https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=engine_bearing_failure
- [8] Gas Turbine Engine Bearings and Seals. [online]. Dostupné na internete: <https://www.flight-mechanic.com/gas-turbine-engine-bearings-and-seals/>
- [9] Hriadele [online]. Dostupné na internete: https://cloud2q.edupage.org/cloud/UT_CST_2_-_Hriadele_capy_s_obsahom.pdf?z%3A8iG07jqEWIY52NDhTf0bBIRifj4dbDPSr63gNWfgVmJ9M2s0mGHWkDn1LiSNP1P
- [10] European Springs Ireland [online]. Dostupné na internete: <https://www.europeansprings.com/company/spring-manufacturers-ireland/>
- [11] Design of springs [Online]. Dostupné na internete: <http://www.meca.insa-toulouse.fr/~paredes/Springs2K/index.php?men=gen&ide=Bdefinition>
- [12] Variable springs support [Online]. Dostupné na internete: <https://pipingtech.com/products/engineered-spring-supports/variable-spring-supports/>
- [13] Prevody [online]. Dostupné na internete: <https://www.slideserve.com/salome/prevody>
- [14] Accessory gearbox [online]. Dostupné na internete: <https://gas-turbines.weebly.com/gear-boxes--accessory-drives.html>
- [15] Metodická pomôcka ako písať bakalársku a diplomovú prácu [online]. Dostupné na internete: <https://www.euroekonom.sk/wp-content/Metodicka-pomocka-ako-pisat-bakalarsku-a-adiplomovu-pracu.pdf>
- [16] KLD UNIZA Interná metodická príručka na vypracovanie ZP [online]. Dostupné na internete: https://kld.uniza.sk/images/Subory_Statnice/bp-dp-interna-metodicka-prirucka-2015.pdf

ANTI-COLLISION SYSTEMS OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

PROTIZRÁŽKOVÉ SYSTÉMY BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV

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

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

Abstract

The main goal of the paper is to summarize the knowledge about anti-collision systems of unmanned aerial vehicles. In the work are also described currently used anti-collision systems of unmanned aerial vehicles. The work contains practical research in which we tested anti-collision systems of DJI Mavic 2 Pro. The purpose of the research was to find out how this unmanned aerial vehicle can avoid static obstacles. The second part of practical research is the analysis and comparison of systems that provide anti-collision activity between unmanned aerial vehicle and aircraft in the vicinity. Part of the work is also the evaluation and selection of a cooperative anti-collision system for DJI Inspire 2. The conclusion of the paper contains a summary of the findings that we have obtained based on the analysis of available facts and using operational experience.

Keywords

UAV, UAS, Anti-collision

1. Úvod

Za posledné roky značne narástlo využívanie bezpilotných prostriedkov (UAV – Unmanned Aerial Vehicle) na amatérske, komerčné aj vojenské účely. Následkom toho sa s UAV začalo lietať v nízkych výškach nad terénom, vo vnútri budov a rovnako v blízkosti letísk a v zdieľaných vzdušných priestoroch. UAV môžu ľahko ohroziť ľudské životy, bezpečnosť iných lietadiel, či spôsobiť značné materiálne škody. Preto je zavedenie protizrážkových systémov pre bezpilotné prostriedky veľmi užitočnou pomôckou pri predchádzaní kolíznym situáciám medzi UAV a objektmi v okolí. V dnešnej dobe poznáme mnoho systémov, ktoré bezpilotným prostriedkom poskytujú aspoň minimálnu ochranu pred rizikom zrážky. Mnoho týchto systémov pracuje na rovnakých princípoch ako protizrážkové systémy v riadených lietadlách. Avšak vzhľadom k vysoko narastajúcemu využívaniu bezpilotných leteckých systémov (UAS – Unmanned Aircraft Systems) sa mnoho výrobcov zameriava na vývoj protizrážkových systémov určených primárne pre potreby UAS.

Cieľom tejto práce je sumarizovať poznatky o protizrážkových systémoch bezpilotných prostriedkov. V práci sa zameriame na súčasne využívané protizrážkové systémy. Svoju pozornosť sústredíme najmä na protizrážkové senzory, vďaka ktorým UAS získavajú informácie o okolí. Protizrážkové systémy rozdelíme na základe vzájomnej schopnosti spolupráce. V praktickom výskume vyhodnotíme ako sú protizrážkové senzory komerčné využívaného DJI Mavic 2 Pro schopné plniť ich funkciu, takže poskytovať protizrážkovú činnosť medzi UAV a statickými prekážkami v okolí. Naším ďalším zámerom bude nájsť kooperatívny protizrážkový systém, ktorý bude vhodný pre bezpilotný prostriedok DJI Inspire 2, ktorý využíva Žilinská univerzita v Žiline na vykonávanie leteckých prác. Bližšie

popíšeme niektoré na trhu dostupné systémy a vyhodnotíme ich vhodnosť pre DJI Inspire 2.

2. Protizrážkové systémy bezpilotných prostriedkov

Hlavnou úlohou protizrážkových systémov je zabezpečiť, aby sa bezpilotné prostriedky (UAV) mohli bezpečne pohybovať v spoločnom vzdušnom priestore. V spoločnom vzdušnom priestore sa UAV stretávajú s mnohými prekážkami, medzi ktoré patria napríklad aj lietadla s posádkou.

Počas letu môžu byť bezpilotné letecké systémy vysoko autonómne, čiastočne autonómne alebo plne riadené pilotom na diaľku, ktorý ho riadi cez diaľkové ovládanie. V závislosti od úrovne autonómie UAS sa úloha protizrážkového systému môže pohybovať od jednoduchého zisťovania a varovania pred konfliktmi až po úplne autonómne zisťovanie a riešenie konfliktov. Za konflikt sa považuje ak medzi dvoma lietadlami, alebo akýmkoľvek objektmi nachádzajúcimi sa vo vzdušnom priestore, nie je dodržaná minimálna požadovaná separačná vzdialenosť.

2.1. Činnosť protizrážkových systémov UAV

Protizrážkový systém vysoko autonómnych UAS, poskytujúci Sense and Avoid musí byť schopný zabezpečiť základne funkcie, vďaka ktorým bude predchádzať zrážkam. Medzi tieto funkcie patrí snímacia funkcia, detekčná funkcia a funkcia riešenia konfliktov.

- a) Snímacia funkcia predstavuje schopnosť systému vnímať jeho okolité prostredie a zhromažďovať potrebné informácie. Použitím vhodných komunikačných zariadení a senzorov (napr. kamery,

radary), môže UAS získať prehľad o súčasnom prostredí, v ktorom sa nachádza. Vďaka tomu môže UAS zaznamenať polohu blízkeho lietadla, stromov, stĺpov vysokého napätia a podobne.

- b) Detekčná funkcia umožňuje, aby UAS odhalil budúce riziká konfliktov. Polohová informácia o cudzom objekte sa premieta do blízkej budúcnosti. Súčasná a budúca poloha sa potom skombinujú. Na základe toho je vytvorený najbližší bod priblíženia. Pomocou tejto metódy sa rozhodne, či existuje skutočné riziko konfliktu, a či je potrebný vyhýbací manéver.
- c) V prípade, ak je zistené riziko konfliktu v blízkej budúcnosti, spustí sa funkcia riešenia konfliktov. Túto funkciu majú hlavne vysoko autonómne UAS. Hlavnou úlohou funkcie riešenia konfliktov je vyhnutie sa novej kolízii s cudzím objektom primeraným manévrom. Nebezpečenstvo konfliktu možno vyriešiť horizontálnym manévrom, vertikálnym manévrom alebo zmenou rýchlosti UAV [1].

3. Rozdelenie protizrážkových systémov UAV

Prvým a základným krokom pri zabránení zrážke s cudzím objektom je spozorovanie daného objektu. Je to veľmi dôležitý krok, bez ktorého by nebolo možné vyhnúť sa zrážke. Z toho dôvodu je potrebné, aby bol bezpilotný prostriedok vybavený jedným alebo viacerými senzormi (systémami). Tieto senzory musia byť schopné odhaliť všetky prekážky v blízkosti.

Protizrážkové systémy využívajú mnohé typy senzorov (systémov), ktoré pracujú na rozličných princípoch. Senzory (systémy), ktoré môžu byť použité sú napríklad vizuálne kamery, infračervené kamery, laserové radary, ultrazvukové radary, ADS-B, TCAS [2]. Tieto rôzne druhy senzorov je možné rozdeliť do dvoch kategórií :

- Nekooperatívne protizrážkové systémy (senzory)
- Kooperatívne protizrážkové systémy (senzory)

Kooperatívne systémy musia byť vybavené komunikačnými systémami, ktoré umožnia, aby si mohli bezpilotné prostriedky medzi sebou vymieňať potrebné letové informácie. Bepilotné prostriedky, ktoré nie sú vybavené takýmito komunikačnými systémami pracujú na princípe nekooperatívnych systémov. V tomto prípade sú okolité lietadla snímané priamo, bez potreby vzájomnej výmeny informácií [3]. Z toho vyplýva, že senzory takýchto bezpilotných prostriedkov musia byť schopné samostatne detegovať okolie.

3.1. Nekooperatívne protizrážkové systémy

Tieto systémy (senzory) si nevyžadujú žiadnu spoluprácu s inými lietadlami, čo je ich veľkou výhodou. Zatiaľ čo kooperatívne systémy dokážu detegovať len pohyblivé prekážky, vybavené komunikačnými zariadeniami, nekooperatívne snímajú všetky prekážky v okolí, či už pohyblivé alebo nepohyblivé. Tieto systémy sa delia na dve skupiny:

- Pasívne systémy
- Aktívne systémy

Ich výber závisí najmä od požiadaviek kladených na využitie [4]. Nekooperatívne systémy sú taktiež často využívané pri UAV, ktoré lietajú vo vnútri budov. Je to z toho dôvodu, že nekooperatívne systémy dokážu snímať steny, stroje, kancelársku techniku a rovnako aj ľudí [5].

3.1.1. Pasívne systémy

Zaznamenávajú žiarenie alebo rôzne typy vln. Prijímajú informácie tak, ako sú zobrazované v reálnom svete. Je možné ich prirovnať k ľudským očiam a ušiam, ktoré taktiež prijímajú svetelné alebo zvukové vlny [6]. Väčšina z pasívne využívaných systémov sú infračervené kamery a optické kamery. Optické alebo taktiež nazývané vizuálne kamery pracujú vo viditeľnom svetle. Termálne alebo infračervené kamery predstavujú zariadenia, ktoré dokážu vytvárať obraz pomocou infračerveného svetla. Rozdiel medzi infračervenými a optickými kamerami je v tom, že infračervené využívajú svetlo s vyššou vlnovou dĺžkou [7]. Infračervené kamery dokážu pracovať aj pri zhoršených podmienkach viditeľnosti a slabom svetle.

Všetky tieto kamery získavajú užitočné informácie z **kúskov** nespracovaných dát, ktoré zaznamenávajú pomocou senzorov. Spracovávanie obrazu si vyžaduje samostatný algoritmus. Okrem toho je potrebný ďalší algoritmus na výpočet vzdialenosti prekážok a potrebných parametrov, ktoré s tým súvisia. To si vyžaduje veľkú výpočtovú kapacitu. Jednou z hlavných nevýhod pasívnych senzorov je obmedzenie zorného poľa snímacích kamier [8].

Optické senzory - Optické senzory (kamery) fungujú na princípe zachytávania obrazu okolitého prostredia. Výhodou využívania tohto typu senzorov je, že kamery majú malé rozmery, nízku hmotnosť, nízku spotrebu energie a dajú sa ľahko pripojiť k bezpilotnému prostriedku. Na druhej strane je ich veľkou nevýhodou závislosť na meteorologických podmienkach, citlivosť na svetlo, vplyv farby pozadia na kvalitu obrazu. Taktiež môže byť jas ich obrazu nedostatočný. Tieto faktory majú značný dopad na kvalitu zaznamenávaného obrazu. Z hľadiska poskytovania informácii je taktiež ich nevýhodou fakt, že neposkytujú presné informácie o vzdialenosti a rýchlosti prekážok [9].

Infračervené senzory - Sú to infračervené (termálne) kamery snímajúce infračervenú žiarenie, ktoré tvorí časť elektromagnetického spektra. Infračervené žiarenie je vyžarované z každého telesa, ktorého teplota je vyššia ako hodnota absolútnej nuly (-273,15 °C). So zvyšujúcou sa teplotou telesa rastie množstvo žiarenia, ktoré teleso vyžaruje. Infračervené senzory zaznamenávajú rozdielne hodnoty žiarenia objektov v okolí. Na základe toho vytvárajú obraz [10]. Zvyčajne sú využívané pri podmienkach zlej viditeľnosti. Zvyknú sa používať v kombinácii s optickými senzormi, keďže optické senzory sú za nedostatočnej viditeľnosti slabo spoľahlivé. Kombináciu infračervených a optických senzorov je možné vidieť u UAV od výrobcu DJI. Taktiež existuje veľa výrobcov, ktorí sa zameriavajú na externé plug-and-play duálne infračervené a optické senzory. Na nasledujúcom obrázku môžeme vidieť spomínanú kombináciu optického a infračerveného senzora .



Obrázok 1: TMS7138A – Duálny senzor. Zdroj: [11].

3.1.2. Aktívne systémy

Aktívne systémy majú svoje vlastné vysielacie, ktoré slúžia ako zdroje svetelných vln, elektrického signálu alebo akustického signálu. Vysielaný signál sa pri kontakte s cudzím objektom odrazí naspäť a je zachytený prijímačom/detektorom. Signál je schopný prechádzať cez atmosféru za takmer všetkých podmienok. Jednou z výhod aktívnych systémov je, že kontrolujú rozsiahly priestor za pomerne nízky čas. Ďalšou výhodou je rýchle spracovanie informácií, ktoré si nevyžaduje veľké nároky na výkon procesora. Dokážu pracovať za rôznych meteorologických podmienok, takže sú málo ovplyvnené počasím. Aktívne systémy sú schopné s vysokou presnosťou zobrazovať informácie ako rýchlosť približovania prekážky, vzdialenosť prekážky a smer prekážky. Avšak nevýhodou týchto systémov je vysoká cena, veľká hmotnosť a rozmery. To z nich robí malo využiteľné pri malých bezpilotných prostriedkoch, akými sú napríklad malé batériou poháňané UAV [12].

Radar - Je to druh aktívnych senzorov, využívajúci elektromagnetické žiarenie, prevažne z mikrovlnnej oblasti. Radar vysielá elektromagnetické vlny a následne zaznamenáva ich odraz od objektov, ktoré sú schopné tieto vlny odrážať. Takto vie radar zistiť relatívny smer kde sa objekt nachádza, a to podľa uhla, pod ktorým sa vlny odrážajú. Ak je radaru poskytnutá informácia o rýchlosti svetla v danom prostredí, dokáže zmerať vzdialenosť UAV od objektu. Aplikovaním dopplerovho princípu radar vypočíta relatívnu rýchlosť snímaného objektu [13] [28] [29].

Ultrazvukový radar (Sonar) - Detegujú prekážky vysielaním a následným prijatím zvukových vln. Na základe času, ktorý uplynie od vyslania zvukovej vlny do jej návratu, sa vypočíta vzdialenosť objektu. Pracujú na podobnom princípe ako radary. V porovnaní s radarmi sú cenovo dostupnejšie. Ich hlavnou nevýhodou oproti radarom je, že zvukové vlny nedokážu prechádzať vzduchom rovnako vysokou rýchlosťou ako elektromagnetické vlny. To spôsobuje, že nevedia poskytnúť taký presný výsledok ako klasické radary. Je možné zvýšiť ich presnosť, a to vylepšením hardvérových komponentov a pomocnými výpočtovými metódami. Avšak týmto stúpa ich cena [14] [15].

Laserový radar (LiDAR) - princípom práce podobné radarom a ultrazvukovým radarom. V rýchlom slede vysielajú do okolia laserové impulzy, ktoré majú presne definované smery. Tieto laserové impulzy sa pri strete s prekážkou odrazia späť a skener laserového radaru ich zaznamená. Laserový radar následne na základe zmerania času uplynutého od vyslania až po príjem impulzu vypočíta vzdialenosť a smer prekážok obklopujúcich UAV [16]. Údaje, ktoré sú získane pomocou laserových radarov

sú mimoriadne presné a rýchlo dostupné. Dnešné laserové radary sú ľahké a majú malé rozmery. Vďaka tomu je možné namontovať ich aj na najmenšie typy UAV [12]. Ich využitie je primárne pre UAV, ktoré lietajú v nízkych výškach nad terénom [17].

3.2. Kooperatívne protizrážkové systémy

Protizrážkové systémy využívajúce kooperatívne systémy (senzory) spoliehajú na skupinu zariadení, ktoré poskytujú výmenu informácií medzi UAS a ostatnými lietadlami. Aby mohla byť výmena informácií zabezpečená, musia byť vybavené rovnakými druhmi systémov, ktoré medzi sebou nadviažu komunikáciu. Vymieňané informácie zahŕňajú napríklad pozíciu, smer, rýchlosť a určené body na trase jednotlivých UAV.

Kooperatívne systémy sú viac využívané v riadených lietadlách ako v bezpilotných prostriedkoch. Vyžadujú relatívne veľký priestor na inštaláciu, preto nie všetky sú vhodné pre stredné a malé UAV [18]. Avšak momentálne už poznáme množstvo výrobcov a dodávateľov, ktorí sa venujú miniaturizácii kooperatívnych protizrážkových systémov.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) je sledovacia technológia pre lietadla s posádkou a taktiež pre bezpilotné prostriedky. Táto technológia bola zavedená ako potencionálna náhrada za sekundárny prehľadový radar (SSR-Secondary Surveillance Radar) v riadení letovej prevádzky. Taktiež je to metóda, ktorou je možná integrácia UAS do riadeného vzdušného priestoru. Poskytuje informácie riadeniu letovej prevádzky a taktiež lietadlám navzájom.

ADS-B vysielateľ umožňuje lietadlám bezpečne zdieľať spoločný vzdušný priestor vysielaním polohy lietadla, vypočítanej vďaka signálu z GPS alebo akéhokoľvek iného typu GNSS. Poloha spolu s identifikačnou značkou, rýchlosťou a výškou je pravidelne vysielaná pomocou *ADS-B Out*.

ADS-B In je príjem tejto informácie iným lietadlom pomocou prijímača ADS-B In. Umožňuje pilotovi na diaľku alebo vysoko autonómnemu UAS vykonať bezpečný let, bez rizika zrážky s iným dopravným prostriedkom vo vzdušnom priestore. Táto skutočnosť z neho robí nevyhnutný prvok bezpečnosti letov v systémoch leteckej dopravy. Pre UAS sa často využívajú ADS-B prijímače vo forme USB. Sú malé, ľahké a pomerne lacné, taktiež dokážu poskytovať vysokokvalitné údaje o sledovaní lietadiel v okolí UAS [19] [20].

TCAS - je kooperatívny typ protizrážkového systému, ktorý využíva signály odpovedača sekundárneho radaru (SSR). Je široko využívaný a osvedčený ako spoľahlivý prostriedok v rámci protizrážkových systémov riadených lietadiel. TCAS II funguje na princípe požadovania informácií (dotaz) na špecifickej komunikačnej frekvencii. Ostatné lietadla v okolí, vybavené systémom TCAS II, po prípade len odpovedačom módu A/C, alebo S na túto požiadavku zareagujú a odošlú odpoveď. Následne TCAS II, ktorý dotaz vyslal, prijme odpoveď od okolitých lietadiel. Pomocou prijatých informácií je TCAS II schopný vyhodnotiť polohu týchto lietadiel a upozorniť na možnú kolíziu. Taktiež môže navrhnúť manéver, ktorým vyrieši možné riziko kolízie. Zvyčajne sa jedná o vertikálny manéver [21]. TCAS II nie je vhodný pre malé UAV, vzhľadom na jeho pomerne vysokú hmotnosť. Okrem toho, TCAS II si vyžaduje

hlavne vertikálne manévry. Avšak väčšina UAV nie je vo vertikálnej zložke dostatočne rýchla a obratná. Ich rýchlosť a obratnosť je primárne v horizontálnych smeroch.

ACAS X (Airborne Collision Avoidance System X) - sa považuje za protizrážkový systém budúcnosti, ktorý budú využívať lietadla s posádkou, rovnako ako aj bezpilotné prostriedky [22]. Tento systém využíva vyspelé technológie, ktoré pri vývoji systému TCAS II neboli k dispozícii. **ACAS Xu** je verzia určená pre bezpilotné prostriedky. Zahŕňa primárne horizontálne manévry. ACAS Xu sa delí na monitorovací a sledovací modul (STM - surveillance and tracking module) a na modul riešenia hrozieb (TRM - threat resolution module). Monitorovací a sledovací modul spracováva informácie z palubných snímacích senzorov a zisťuje polohu okolitých lietadiel. Modul riešenia hrozieb využíva túto polohu na určenie, či je potrebné vykonať manéver, ktorým sa UAV vyhne zrážke. Rovnako poskytnú informáciu o tom, aký manéver sa odporúča vykonať [23].

FLARM - je protizrážkový varovný systém, ktorý ponúka riešenia pre lietadla s posádkou, ale aj pre bezpilotné prostriedky. Riešenia zahŕňajú elektronickú identifikáciu, senzory, autonómne vyhýbanie sa kolíziám, sledovanie infraštruktúry terénu, dátové spojenie a poradenstvo v oblasti posudzovania leteckých rizík. **Atom UAV** je komplexný, plne vybavený FLARM systém určený pre UAS. Atom UAV obsahuje FLARM rádiový vysielač-prijímač, ADS-B prijímač a Wi-fi vysielač pre priame vysielanie diaľkovej identifikácie. Princíp elektrickej identifikácie (eID) spočíva v tom, že UAS pravidelne vysielajú svoj jedinečný identifikačný kód a aktuálnu pozíciu prostredníctvom vysokofrekvenčnej digitálnej správy. To umožňuje oprávneným stranám detegovať, identifikovať, lokalizovať a sledovať bezpilotné prostriedky kdekoľvek a kedykoľvek, a to aj pri absencii sieťového pripojenia [24] [25] [26].

Softvérové aplikácie poskytujúce vzdialenú identifikáciu - Mnoho firiem pracuje na technológiách, ktoré umožnia každému, kto má smartphone/tablet, aby mohol sledovať UAV, ktoré lietajú v blízkosti. Jedná sa o sledovacie mobilné aplikácie, ktoré poskytujú zvýšenie bezpečnosti vo vzdušných priestoroch. Tieto aplikácie vyžadujú, aby boli mobilné zariadenia vybavené systémom GPS a aby mali prístup na internet. Sú navrhnuté tak, aby spĺňali požiadavky oprávnených orgánov v oblasti bezpečnosti, dodržiavali zásady ochrany súkromia a zároveň rešpektovali práva užívateľov UAV. Vzhľadom k tomu, že sa na trhu objavuje čoraz viac výrobcov UAV, tak sa zvyšuje aj počet takýchto aplikácií. Medzi tieto aplikácie patria napríklad DroneRadar alebo DJI diaľková identifikácia.

4. Praktický výskum

V tejto časti práce sme sa zamerali na protizrážkové systémy komerčne využívaného DJI Mavic 2 Pro. Mavic 2 Pro je vybavený optickými systémami, ktoré sa nachádzajú v jeho nosovej časti, chvostovej časti, po bokoch a v spodnej časti. Vpredu, vzadu a zospodu je dokopy šesť optických kamier, ktoré sú doplnené dvoma bočnými optickými kamerami (na každej strane jedna). Na spodnej strane sa nachádza pomocné osvetlenie, ktoré pri zlých svetelných podmienkach pomáha zlepšiť viditeľnosť pre spodnú optickú kameru. Taktiež je vybavený jedným vrchným a jedným spodným 3D infračerveným senzorom. Za vhodných svetelných podmienok je táto kombinácia optických a infračervených kamier schopná poskytnúť všesmerové snímanie prekážok [27].



Obrázok 2: DJI MAVIC 2 PRO. Zdroj: Autori.

Testovali sme protizrážkové systémy DJI Mavic 2 Pro na základe ich schopnosti zachytiť statické objekty (stromy, stĺpy, elektrické káble). Vyskúšali sme ich činnosť pri rôznych meteorologických a svetelných podmienkach. Opísali sme činnosť optických snímacích senzorov pri aktivovanom inteligentnom móde Active Track 2.0. Rovnako sme zhodnotili možnosť prevádzky DJI Mavic 2 Pro v zdieľanom vzdušnom priestore.

Mavic 2 sme skúšali v P-mode, ktorý je z hľadiska bezpečnosti letu najlepší. Sú v ňom aktívne všetky protizrážkové systémy, okrem bočných optických systémov. Meteorologické podmienky pre let boli v súlade s VFR, bol slnečný deň a takmer bezvetrie. Pri horizontálnom lete smerom vpred sme testovali funkciu nosových optických senzorov. UAV sme pri rýchlosti približne 12 kilometrov za hodinu nasmerovali priamo na stenu budovy. UAV v dostatočnej vzdialenosti od prekážky samostatne zabrzdil a vznášal sa na mieste. Opakovaný pokus spraviť pohyb vpred smerom k prekážke nám UAV neumožnil, keďže optický systém detegoval prekážku.

Pri ďalšom pokuse sme si ako prekážku vybrali kmeň stromu, ktorý je priestorovo užší ako stena budovy. Zvolili sme rovnaký letový mód a rovnaké letové parametre ako pri predchádzajúcom pokuse. Výsledok bol takmer rovnaký. UAV zabrzdil v dostatočnej vzdialenosti od prekážky, tentokrát bola vzdialenosť od prekážky o čosi menšia. Pravdepodobne to bolo spôsobené tým, že optický snímací systém neskôr zaznamenal prekážku, keďže bola menšia oproti predchádzajúcej. Výrobca uvádza, že zdvojený nosový optický systém dokáže presne rozoznať prekážku do 20 metrov. Tu však musíme brať do úvahy, že funkcia optického systému mohla byť ovplyvnená slnečným žiarením. Avšak, rýchlosť letu bola len 12 kilometrov za hodinu. Predpokladáme, že pri niekoľkonásobne vyššej rýchlosti letu by optický systém nebol schopný v čas zaznamenať prekážku, tým pádom by nemal dostatok času na zabrzdzenie.

V aktivovanom P-mode sme testovali spoľahlivosť vrchných protizrážkových systémov. Ako bolo vyššie spomenuté, Mavic 2 Pro je na vrchnej strane vybavený optickým systémom doplneným infračervenou kamerou. Pre tento test sme si opäť zvolili dve rôzne prekážky. Prvý test sme vykonávali vo vnútornom priestore hangáru, ako prekážku sme zvolili strop hangáru. Ako druhú prekážku sme si zvolili korunu stromu pozostávajúcu z mnohých konárov bez listia. V oboch prípadoch bol však výsledok rovnaký. Kombinácia optického a infračerveného systému pomerne s vysokou presnosťou zaznamenala prekážku, bola nám poskytnutá zvuková výstraha a UAV v čas zabrzdil svoj vertikálny pohyb. Menšie prekážky sme si z bezpečnostných dôvodov už nevyberali. Analýzou dát zo záznamov o nehodách DJI Mavic 2 Pro sme však zistili, že optické

a rovnako infračervené systémy tohto UAV majú problém zaznamenať prekážky ako napríklad elektrické drôty.

Na záver sme sa rozhodli vyskúšať protizrážkovú činnosť v aktivovanom inteligentnom móde **ActiveTrack 2.0**. Ten umožňuje identifikovať subjekt a nasledovať ho. Tento inteligentný mód je možné aktivovať len počas letového módu P-mode. Na funkčnosť tohto módu nie sú potrebné žiadne externé sledovacie zariadenia. Active Track 2.0 využíva hlavnú kameru a obidva nosové optické senzory. Na základe toho dokáže vytvoriť 3D mapu okolia a identifikovať sledovaný subjekt a taktiež potencionálne prekážky. Najprv sme si nastavili RTH (Return to home) lokáciu, ktorá umožňuje UAV vrátiť sa na pôvodne miesto (napríklad miesto vzletu). Realizovali sme to z dôvodu, ak by pri sledovaní objektu došlo k strate signálu medzi diaľkovým ovládačom a UAV. V takom prípade by sa UAV samostatne vrátil naspäť na miesto vzletu. Počas RTH má DJI Mavic 2 aktívne protizrážkové systémy. Pomocou DJI Smart controller ovládača sme si zvolili subjekt, ktorý sme chceli, aby UAV sledoval. Naším zvoleným subjektom bola tretia osoba, ktorú sme využili pre tieto potreby. Subjekt kráčal z otvoreného priestranstva do lesa. UAV sme mali pod priamym vizuálnym kontaktom, aby sme neporušili legislatívu, ktorá to prikazuje. UAV subjekt sledoval a bez akýchkoľvek problémov sa vyhýbal stromom a kríkom. Pri niektorých prekážkach (stromoch) sa stalo, že pred prekážkou UAV zastavil a krátku chvíľu čakal, či nepríde príkaz skrz diaľkové ovládanie. Ak nedošlo k žiadnej akcii od pilota na diaľku, tak Mavic 2 Pro pokračoval v samostatne vytvorenej trajektórii, zatiaľ čo sa vyhýbal prekážkam a sledoval subjekt. V jednom momente došlo k situácií, kedy UAV zastavil pred prekážkou a ani po dlhšej chvíli nepokračoval v nasledovaní subjektu. Pravdepodobne nebol schopný autonómne vypočítať nasledujúcu trajektóriu, keďže sa okolo neho nachádzalo viac prekážok. Bol nutný manuálny zásah od pilota na diaľku, no napriek tomu test potvrdil správnu činnosť optických senzorov, ktoré dokázali detegovať všetky okolité prekážky.

Z dostupných zistení vyplýva, že DJI Mavic 2 Pro má protizrážkové senzory, ktoré dokážu spoľahlivo poskytovať protizrážkovú činnosť pri malých rýchlostiach, vhodných svetelných podmienkach a dostatočne veľkých prekážkach.

4.1. Porovnanie kooperatívnych protizrážkových systémov

V predchádzajúcej časti práce sme sa zamerali na protizrážkovú činnosť nekooperatívnych senzorov, ktorými je vybavený DJI Mavic 2 Pro. Následne bolo našim pôvodným cieľom sústrediť sa na činnosť kooperatívnych protizrážkových systémov. Avšak na Katedre leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline nie je k dispozícii žiaden UAS, vybavený kooperatívnym protizrážkovým systémom. Preto sme sa rozhodli, že spravíme analýzu kooperatívnych protizrážkových systémov, ktoré sú dostupné na trhu. Taktiež bolo našim cieľom zvoliť najvhodnejší kooperatívny protizrážkový systém pre UAS, ktorý je vo vlastníctve Katedry leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline.

Vybrali sme si DJI Inspire 2. Dôvodom bolo, že tento bezpilotný prostriedok má pomerne veľké rozmery a má najvyššiu maximálnu povolenú vzletovú hmotnosť v porovnaní s ostatnými UAV s protizrážkovými systémami, ktoré má Žilinská univerzita v Žiline (s povolením pre vykonávanie leteckých prác). Väčšie rozmery a vyššia maximálna vzletová hmotnosť sú

výhodou, keďže niektoré kooperatívne protizrážkové systémy vyžadujú relatívne veľký priestor na inštaláciu.

Pri výbere sme sa rozhodovali medzi kooperatívnymi systémami, ktoré už v tejto práci boli podrobnejšie rozobraté, a to TCAS II, ADS-B, FLARM a softvérové aplikácie poskytujúce diaľkovú identifikáciu. Pri analýze informácií z viacerých zdrojov sme dospeli k záveru, že pre zabezpečenie vysokej informatívnosti o okolitých lietadlách bude pre nás najvhodnejšie, aby sme náš bezpilotný prostriedok DJI Inspire 2 vybavili kooperatívnym systémom ADS-B. Naším ďalším cieľom bolo nájsť ADS-B zariadenie pre UAS, ktoré je vhodné z hľadiska efektívnosti, ceny, veľkosti a pár ďalších faktorov.

Na trhu je možné zakúpiť množstvo ADS-B transpondérov, prijímačov, vysielačov a kombinovaných vysielač-prijímačov, ktoré sú určené pre UAS. Pre požiadavky našej práce sme sa však zamerali na troch výrobcov, ktorými sú uAvionix Corporation, Sagetech Avionics a Aerobits. Vybrali sme týchto výrobcov, pretože sú na trhu pomerne známi, osvedčení a ich technológie majú vysokú kompatibilitu s väčšinou UAS.

Tabuľka 1: Porovnanie ADS-B zariadení pre UAS. Zdroj: Autori.

Názov	Ping20Si	PingRX Pro	MXS	TR-1F
Výrobca	uAvionix	uAvionix	Segatech	Aerobits
Typ	transpondér	prijímač	transpondér	prijímač - vysielač
Rozmery (mm)	50 x 25 x 17	32 x 31 x 9	86 x 64 x 25	35 x 25 x 8,5
Dosah (km)	nezistený	278 (príjem)	nezistený	10 (vysielanie)
Spotreba energie (Watt)	1	0,15	8	1
Cena (Eur)	2500	290	8000	1150
Teplotný rozsah (°C)	-45 do 80	-55 do 85	-40 do 70	-50 do 80
Spolupráca (okrem ADS-B)	TCAS (mód S)	žiadna	TCAS (mód S)	FLARM

Ak sa pozrieme na jednotlivé technológie, ktoré sme si rozobrali vyššie, tak môžeme zhodnotiť, že na trhu máme k dispozícii rôzne varianty ADS-B systémov pre UAS. Ping20Si a MXS sú ADS-B transpondéry, ktoré majú z vyššie spomenutých najviac funkcií. Vzhľadom k tomu majú väčšie rozmery, vyššiu spotrebu energie a niekoľkonásobne vyššiu cenu. Môžeme s určitou povedať, že vzhľadom na ich výhody, akými sú napríklad spolupráca so systémom TCAS (mód S), dokážu poskytnúť vyššiu bezpečnosť pre UAS. Na druhej strane vyššia cena a spotreba energie (hlavne u MXS) sú dôvodom, prečo nie sú vhodné pre

všetky typy UAS. Cena samotného MXS je vyššia ako cena väčšiny bežne využívaných UAS.

Najpriateľnejšiu cenu má PingRX Pro, ktorý však dokáže informácie len prijímať. To považujeme za nevýhodu, keďže ostatné lietadla by neboli informované o našej prevádzke. Z toho dôvodu si myslíme, že bezpečnosť takéhoto zariadenia je polovičná oproti systému ADS-B, ktorý informácie dokáže aj vyslať (transpondér, vysielateľ). Ak je výmena informácii vzájomná, je vyššia pravdepodobnosť, že sa dokáže predísť zrážke. V prípade ADS-B prijímača, kedy by okolitá prevádzka nemala informácie o našej polohe, by napríklad pri zlyhaní ľudského faktora (nepozornosť pilota na diaľku), mohlo dôjsť k zrážke. Ak by sme vysielali informácie, okolitá prevádzka by bola oboznámená s našou pozíciou, čo by mohol byť kľúčový faktor pri predchádzaní kolíznym situáciám.

PingRX Pro má taktiež najnižšiu spotrebu energie z vyššie spomenutých ADS-B zariadení. Z hľadiska dĺžky výdrže UAV vo vzduchu je najvhodnejší, keďže najmenej ovplyvňuje spotrebu energie.

TR-1F informácie o UAV vysielajú aj prijíma. Jeho cena je oproti PingRX Pro niekoľkonásobne vyššia, na druhej strane je oveľa priateľnejšia ako u MXS a Ping20Si. Spotreba energie TR-1F je podobná ako u Ping20Si, no TR-1F na rozdiel od Ping20Si nedokáže reagovať na dotazy systému TCAS.

Porovnávali sme rôzne typy ADS-B zariadení (transpondéry, prijímač, prijímač-vysielateľ), ktoré majú rozličné funkcie a parametre. Vybrať jedno z nich z hľadiska najvhodnejšej ceny, veľkosti, hmotnosti, spotreby energie, efektívnosti je veľmi náročné. Všetky z vyššie spomenutých ADS-B zariadení majú svoje výhody a nevýhody. Nie je možné s presnou určitosťou uviesť, ktoré by z nich bolo najvhodnejšie pre DJI Inspire 2.

5. Záver

Jedným z hlavných cieľov bolo zhrnúť poznatky o protizrážkových systémoch používaných v bezpilotných leteckých systémoch. Vymenovali sme jednotlivé kroky, ktoré protizrážkové systémy bezpilotných prostriedkov vykonávajú, aby predišli zrážke s okolitými prekážkami. Zhrnuli sme informácie o protizrážkových systémoch používaných v UAS. Poukázali sme na dôležitosť snímacej funkcie, ktorú zabezpečujú protizrážkové senzory. V tejto kapitole sme taktiež rozdelili dané senzory na nekooperatívne a kooperatívne, na základe schopnosti vzájomnej spolupráce.

Pri nekooperatívnych senzoch sme si bližšie ukázali pasívne aj aktívne pracujúce senzory. Dostupné informácie ukazujú, že všetky z týchto vyššie spomenutých nekooperatívnych senzorov (optické senzory, infračervené senzory, radary, laserové radary, ultrazvukové radary) majú limity a nedostatky. Z toho vyplýva, že pre spoľahlivé zabránenie vzniku kolízie medzi UAV a iným objektom nie je možné použiť len jeden senzor. Je potrebné, aby boli UAS vybavené viac ako jedným senzorom. Využívajú sa buď kombinácie viacerých senzorov (systémov) jedného typu alebo kombinácie viacerých senzorov (systémov) rôzneho typu. To umožňuje pokryť väčšiu oblasť okolo UAV a odstrániť slepé uhly.

Pri spracovávaní informácii o nekooperatívnych senzoch sme zistili, že aktívne senzory majú oproti pasívnym viac výhod. Jednou z nich je potreba menšieho výpočtového výkonu na spracovanie údajov. Je to spôsobené tým, že údaje

zaznamenané aktívnymi senzormi (radar, laserový radar, ultrazvukový radar) sú priame údaje, takže určené na detekciu. Zatiaľ čo pasívne senzory (napr. kamery) zaznamenávajú aj nepotrebné údaje. Vďaka tomu je proces spracovania dát omnoho rýchlejší u aktívnych senzorov. To považujeme za značný benefit. Rýchlejšie spracovanie dát znamená rýchlejšie vyhodnotenie situácie v okolí, tým pádom takýto systém poskytuje viac času na vytvorenie riešenia v prípade rizika zrážky. Aktívne senzory taktiež vynikajú vyššou presnosťou detekcie prekážky a väčším dosahom oproti pasívnym.

Vzhľadom k týmto dostupným informáciám sú pre optimálnu funkciu protizrážkových systémov bezpilotných prostriedkov vhodnejšie aktívne senzory. Avšak v praxi sa oveľa častejšie stretávame s pasívnymi senzormi (optické senzory, infračervené senzory), ktorých cena je oveľa prijateľnejšia.

V praktickom výskume sme sa sústredili na činnosť pasívnych (nekooperatívnych) protizrážkových systémov. Na základe prevádzkových skúseností sme vyhodnotili protizrážkovú činnosť DJI Mavic 2 Pro, ktorý má optické a infračervené senzory. Zistenia nám ukázali, že DJI Mavic 2 Pro je vybavený systémami, ktoré pilotovi na diaľku značne pomáhajú pri činnosti a poskytujú zvýšenie bezpečnosti. Tieto protizrážkové systémy sú spoľahlivé aj pri autonómnej činnosti (ActiveTrack 2.0). Ako bolo v praktickom výskume spomenuté, našli sme aj nedostatky, ktoré ukazujú, že DJI Mavic 2 Pro nedokáže samostatne lietať za každých okolností. Pri nepohyblivých prekážkach boli protizrážkové systémy pomerne presné. Preto možno posúdiť, že väčšina optických a infračervených senzorov spoľahlivo poskytuje informácie o statických objektoch v okolí UAV. Ukázalo sa, že vizuálne (optické) kamery je najvhodnejšie používať len pri dobrej viditeľnosti, takže cez deň alebo pri vhodnom osvetlení, a taktiež za vyhovujúcich meteorologických podmienok. Dosah detekcie pasívnych senzorov je pomerne nízky. Taktiež spracovávanie informácii a vyhodnotenie okolitej situácie je z časového hľadiska nevhodnejšie ako napríklad u kooperatívnych senzorov alebo nekooperatívnych aktívnych senzorov. Pri pohyblivých prekážkach, ktoré sa pohybujú relatívne vyššou rýchlosťou (riadené lietadlá, UAV) sa domnievame, že by optické a infračervené senzory neboli schopné včasnej identifikácie inej prevádzky, čo by mohlo spôsobiť nehodu. Jednak kvôli obmedzenému dosahu detekcie a rovnako kvôli dlhšiemu času spracovania informácii. Preto si na základe toho myslíme, že by bol let s DJI Mavic 2 Pro v priestore s inou leteckou prevádzkou nebezpečný. Nepomáha tomu ani fakt, že DJI Mavic 2 Pro nie je vybavený žiadnym kooperatívnym protizrážkovým systémom, ktorý by mu umožnil nadviazať komunikáciu s iným lietadlom.

V praktickom výskume sme sa taktiež sústredili na kooperatívne protizrážkové systémy. Ako sme našimi analýzami ukázali, v dnešnej dobe poznáme mnoho výrobcov a dodávateľov, ktorí sa venujú problematike zaradenia UAS do spoločných vzdušných priestorov pomocou kooperatívnych systémov. My sme sa bližšie zamerali na výber vhodného ADS-B zariadenia pre DJI Inspire 2. Nevýhodou DJI Inspire 2 je, že UAS od výrobcu DJI majú uzavretú infraštruktúru a kompatibilita s výrobkami od iných výrobcov zvykne byť veľmi nízka. Preto by bolo v prípade väčšiny externých ADS-B zariadení nutné vykonať softvérové úpravy pre zaistenie plnej spolupráce medzi ADS-B systémom a daným UAS. Porovnávali sme dva ADS-B transpondéry, ADS-B prijímač a ADS-B prijímač-vysielateľ a zistili sme, že každé z týchto zariadení sa hodí pre iné účely. Ukázalo sa, že je náročné jednoznačne vybrať

konkrétne zariadenie poskytujúce ADS-B. Preto záleží najmä na požiadavkách užívateľa, aké z týchto zariadení je pre neho najvhodnejšie. Nám sa nepodarilo jednoznačne určiť, ktoré ADS-B zariadenie by bolo pre DJI Inspire 2 najlepšie.

Využitie kooperatívnych protizrážkových systémov má značne využitie hlavne v riadených lietadlách. Myslíme si, že na Slovensku sa takéto systémy v UAS nevyužívajú často hlavne kvôli legislatíve. UAV smú lietať len mimo letísk. Celkovo majú povolené lietať len vo výškach, v ktorých by nemalo žiadne lietadlo lietať, s výnimkou núdzových situácií. Najväčšiu pravdepodobnosť stretu majú UAV s vrtuľníkmi, ktoré zvyknú lietať v nižších výškach. Napriek tomu všetkému si myslíme, že kooperatívne protizrážkové systémy pre UAS majú jednoznačne svoju podstatu. Tieto zariadenia považujeme za malý krok, ktorý môže v budúcnosti pomôcť k zmene legislatívy a tým pádom k postupnej integrácii UAS do väčšiny vzdušných priestorov, a taktiež k znižovaniu minimálnej separačnej vzdialenosti medzi UAV a ostatnými používateľmi vzdušných priestorov.

Pod'akovanie

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] KUCHAR, J.K. – YANG, L.C. 2000. A review of conflict detection and resolution modeling methods. In IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. [online]. 2000. 179-189 s. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/898217>>. ISSN: 1558-0016.
- [2] PHAM, H. et al. 2015. A survey on unmanned aerial vehicle collision avoidance systems. New York: Department of Computer Science, Stony Brook University, 2015. 10 s.
- [3] TOMLIN, C. – PAPPAS, G.J. – SASTRY, S. 1998. Conflict Resolution for Air Traffic Management: A Study in Multiagent Hybrid Systems. In IEEE Transactions on Automatic Control [online]. 1998, vol. 43, no. 4. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/664154/authors#authors>> ISSN: 1558-2523.
- [4] MAHJRI, I. - DHRAIE, A. - BELGHITH, A. 2015. A Review on Collision Avoidance Systems for Unmanned Aerial Vehicles, International Workshop on Communication Technologies for Vehicles, 2015.
- [5] ALTURBEH, H. 2014. Collision avoidance systems for UAS operating in civil airspace: dizertačná práca. Cranfield : Cranfield University, 2014. 210 s.
- [6] Making Sense of Drone-based Sensors. [online]. Dostupné na: <<https://www.dronegenuity.com/making-sense-of-drone-based-sensors/>>.
- [7] CHILTON, A. The Working Principle and Key Applications of Infrared Sensors. [online]. 2013. Dostupné na: <<https://www.azosensors.com/article.aspx?ArticleID=339>>.
- [8] KÓTA, F. – ZSEDOVITS, T. – NAGY, Z. 2019. Sense-and-avoid system development on an FPGA. In 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). [online]. 2019. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8798265>>. ISBN 978-1-7281-0333-4.
- [9] SAUNDERS, J. - BEARD, R. 2008. Reactive vision based obstacle avoidance camera field of view constraints. In: Guidance Navigation and Control Conference. [online]. 2008. Dostupné na: <<https://scihub.mksa.top/10.2514/6.2008-7250>>.
- [10] UST. Infrared (IR) Imaging System for UAVs. [online]. Dostupné na: <<https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/cameras-imaging-systems/infrared-imaging-systems/>>.
- [11] TMS7138A – Duálny senzor . Dostupné na: <<https://www.guideir.com/product/detail/id/25.html>>
- [12] YASIN, J. D. et al. 2016. Unmanned Aerial Vehicle (UAVs): Collision Avoidance Systems and Approaches. In IEEE Access. [online]. 2016, vol. 8. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9108245>>. ISSN 2169-3536.
- [13] Radartutorial: Radar Basics. [online]. 2009. Dostupné na: <<https://www.radartutorial.eu/druck/Book1.pdf>>.
- [14] PAPA, U. – DEL CORE, G. 2015. Design of sonar sensor model for safe landing of an UAV. In 2015 IEEE Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace). [online]. 2015. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7180680>>. ISBN:978-1-4799-7569-3.
- [15] HEIDARSSON, H. K. – SUKHATME, G. S. 2011. Obstacle detection and avoidance for an Autonomous Surface Vehicle using a profiling sonar. In 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation. [online]. 2011. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/5980509>>. ISSN 1050-4729.
- [16] WUR. Unmanned Aerial Vehicle for Laser Scanning (LiDAR UAV). [online]. Dostupné na: <<https://www.wur.nl/en/product/Unmanned-Aerial-Vehicle-for-Laser-Scanning-LiDAR-UAV.htm>>.
- [17] RAMASAMY, S. – SABATINI, R. – GARDI, A. 2016. Cooperative and non-cooperative sense-and-avoid in the CNS +A Context: A Unified Methodology. In 2016 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS). [online]. 2016. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7502676>>. ISBN 978-1-4673-9334-8.
- [18] GUAN, X. et al. 2020. A survey of safety separation management and collision avoidance approaches of civil UAS operating in integration national airspace system. In Chinese Journal of Aeronautics. [online]. 2020. Dostupné na: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S10093612030220X>>.

- [19] UST. ADS-B Avionics for Drones & UAVs. [online]. Dostupné na: <<https://www.unmannedsystemstechnology.com/category/supplier-directory/navigation-systems/ads-b-avionics/>>.
- [20] EMBENTION. Sense and avoid in UAVs with ADS-B receiver. [online]. 2019. Dostupné na: <<https://www.embention.com/news/sense-avoid-in-uavs-with-adsb-receiver/>>.
- [21] DALAMAGKIDIS, K. – VALAVANIS, K. P. – PIEGL, L. A. 2009. On Integrating Unmanned Aircraft Systems into National Airspace System. 1.vyd.: Springer Netherlands, 2009, 217 s. ISBN 978-1-4020-8672-4.
- [22] DEATON, J. L. – OWEN, M. P. 2020. Evaluating Collision Avoidance for Small UAS using ACAS X. In AIAA SciTech Forum. [online]. 2020. Dostupné na: <<https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2020-0488>>.
- [23] OWEN, M. P. et al. 2019. ACAS Xu: Integrated Collision Avoidance and Detect and Avoid Capability for UAS. In 2019 IEEE/AIAA 38th Digital Avionics Systems Conference (DASC). [online]. 2019. Dostupné na: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9081758>>. ISSN 2155-7209.
- [24] FLARM. Solutions for UAS operators. [online]. Dostupné na: <<https://flarm.com/solutions/for-organizations/uav-drone-operators/>>.
- [25] FLARM. UAS electronic identification. [online]. Dostupné na: <<https://flarm.com/technology/eid/>>.
- [26] FLARM. Atom UAV – FLARM for drones. [online]. Dostupné na: <<https://flarm.com/products/uav/atom-uav-flarm-for-drones/>>.
- [27] DJI. Mavic 2 Pro/Zoom : User Manual. [online]. 2018. Dostupné na: <https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic+2+Pro+Zoom+User+Manual+V1.4.pdf>.
- [28] 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
- [29] Novák, A., 2015. Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5

IGNITION SYSTEMS OF COMBUSTION PISTON ENGINE AND POSSIBILITY OF ITS OPTIMIZATION

SYSTÉMY ZAPALOVÁNÍ PÍSTOVÝCH ZÁŽEHOVÝCH MOTORŮ A MOŽNOSTI JEJICH OPTIMALIZACE

Marek Vorlíček

Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
marekvorlicek@icloud.com

Jozef Čerňan

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

Abstract

This paper explains the basic definition of ignition, combustion and description of the ignition system functionality. The ignition systems are divided according to established criteriums into the most used types and descriptions of each ignition system components. It focuses on ignition timing and circumstances that affect it and how they influence the observed parameters. I am using ignition timing as an instrument for the observation and optimization of ignition. These practices are tested on piston engine in the practical part of this paper. It describes the modification of the timing curve, measuring of engine power and comparison between each curve. It is an analysis of engine performance under different conditions. The most efficient timing curve is chosen and further evaluated. The used engine for this paper was a rebuild from a car engine used in Trabant 601, VEB Automobilwerke automobile.

Keywords

ignition system, ignition, combustion, ignition timing, piston engine

1. Úvod

V roce 1887 Karl Benz, sestrojil první automobil se spalovacím motorem. Srdcem strojů byly zážehové motory. Jejichž základním principem bylo (a je) přeměnit energii obsaženou v palivu na energii tepelnou a následně mechanickou. Toho je docíleno zapálením a hořením směsi paliva (benzínu) a vzduchu. Směs se připravovala v injektorech nebo karburátorech a byla vedena do válců. Při kompresi válce, bylo nutné směs zapálit. K tomu se využívaly plamínkové zapalovače, nebo později elektrické soustavy, rozpojovací kontakty přímo ve válci, ale následně se začali využívat zapalovací svíčky, které jsou jedním z komponentů zapalovací soustavy do dnes. Když se postupem času začal klást důraz na zvyšování výkonu motorů, musely se zdokonalit i zapalovací soustavy. Ke slovu se dostal předstih zážehu nebo princip dvojího zapálení.

Když vznikaly první letouny (na přelomu 19. a 20. st.), využily se poznatky z už dobře známých zážehových motorů, které sice měly odlišnou konstrukci, ale princip byl stále stejný. Z chemické energie obsažené v palivu získat energii mechanickou, kterou následně bylo nutné přenést na vrtuli. A tedy zapalovací soustavy byly z počátku velmi podobné těm, které se instalovaly v motorech automobilových. Až když se letecká doprava začala zdokonalovat, tedy když lidé chtěli létat „rychleji a výše“, bylo nutné i ty nejjednodušší mechanismy pozměnit.

2. Zapalovací soustava

Zapalovací soustava slouží na zapálení pracovní směsi paliva a vzduchu ve válci. Na zapálení je využívána elektrická jiskra, která

vzniká mezi dvěma elektrodami elektrické zapalovací svíčky, v důsledku výboje vysokého napětí. Elektrickou energii můžeme získávat z několika zdrojů. Těmi hlavními jsou akumulátory a magneta. Elektrický proud směřuje z baterie na primární vinutí cívk, tím vybudí v jádru cívk magnetický tok. Pokud je tok přerušovaný, v sekundárním vinutí se indukuje vysoké napětí. Které je úměrné rychlosti změny magnetického toku a počtem závitů. [1]

2.1. Průrazné napětí

Směs ve válci není elektricky vodivá. Při vytvoření velmi vysokého elektrického napětí na elektrodách svíčky se atomy plynů kladně a záporně nabijí a ty nazýváme ionty. Intenzita ionizace je přímo úměrná napětí na elektrodách.

Ionizovaný plyn je schopen přenést elektrický výboj z jedné elektrody svíčky na druhou. Napětí roste a ve správném okamžiku dojde k nárůstu na hodnotu, která představuje tzv. průrazné napětí. [1]

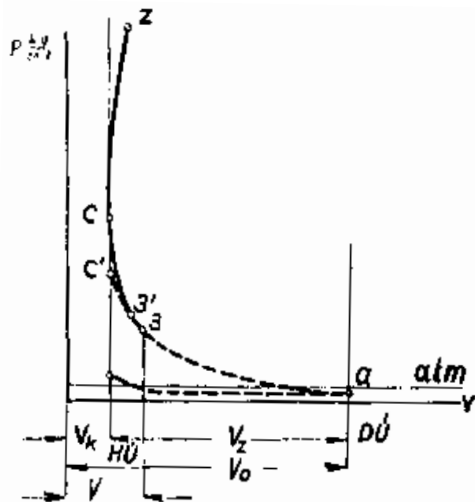
2.2. Hoření směsi

Spalováním neboli hořením směsi, přeměňujeme energii obsaženou v palivu na energii tepelnou, což označujeme jako oksylčování. Hoření rozdělujeme do dvou fází. První induktivní perioda hoření a druhá fáze viditelného hoření.

V první fázi ještě nevidíme plamen. Jde o interval, trvajícím 0,0005-0,001 s, od vzniku jiskry až po záblesk plamene, po kterém následuje pokles napětí na svíčke. Tento interval se

nazývá prodleva zážehu. Zvyšování tlaku v první fázi je docíleno pouze stlačováním pístu, nikoli vznikající jiskrou, což můžeme pozorovat na obrázku 1, mezi body 3 a 3'. Během této doby dochází ke štěpení molekul paliva a ty se připravují na intenzivní chemické sloučení s molekulami kyslíku. Doba první fáze hoření by měla trvat asi 15 % z celkové doby potřebné na hoření.

Druhá fáze je započata prvním zábleskem a končí v okamžiku úplného zapálení směsi. Hoření směsi způsobuje zvyšování tlaku a teploty až do úplného dohoření. [1] [2]



Obrázek 1: Diagram průběhu hoření. Zdroj: [2].

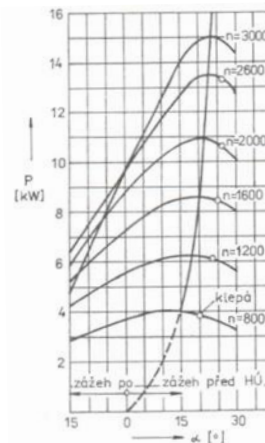
3. Předstih zážehu

Pro dosažení nejvyššího výkonu zážehových motorů, je nutné, aby bylo dosaženo nejvyššího tlaku ve válci v době, kdy je píst za HÚ v rozmezí 10 až 15° úhlu natočení klikové hřídele. Za předpokladu, že doba hoření je nenulová, je pro dosažení této podmínky nutné, vytvořit jiskru a zapálit směs dříve – tedy v předstihu – než píst (z pravdla) dosáhne HÚ. Předstih zážehu neboli též předzápal, udává okamžik, vytvoření jiskry ve stupních úhlu klikové hřídele před HÚ. [2] [3]

Předstih zážehu ovlivňuje výkon motoru, spotřebu paliva a složení spalin. Cílem správného seřízení je optimalizace těchto parametrů: otáčky motoru, zatížení motoru, oktanové číslo paliva, směšovací poměr palivové směsi, tepelný stav motoru, kompresní poměr, relativní vlhkost vzduchu, barometrický tlak.[3]

Všechny činitelé, které způsobují zvýšení rychlosti hoření zmenšují optimální předstih zážehu. Při zvětšování předzápalu tlaky narůstají strměji, roste tvrdost chodu i maximální tlaky. [4]

3.1. Vliv předstihu zážehu na výkon motoru



Obrázek 2: Závislost výkonu motoru na předstihu zážehu a na otáčkách motoru. Zdroj: [4].

Správně nastaveným předstihem docílíme nejvyšší možný výkon motoru. Na obrázku 2, je vyobrazena závislost optimálního předstihu na otáčkách klikové hřídele. Při zvyšování otáček motoru, musí zákonitě dojít i ke zvětšení předstihu zážehu. A to z důvodu, že rychlost hoření se mění pomaleji než rychlost otáčení motoru. Experiment na motoru M-38 (nejedná se o stejný motor, pro který je uvedena závislost výkonu na obrázku) ukázal, že při zvýšení otáček motoru o čtyřnásobek, se rychlost hoření zvýší pouze o 2,5násobek, a tento jev pozorujeme i u jiných motorů. Tedy křivka předzápalu má exponenciální charakter a pro motor na obrázku vychází, že při změně o $n = 2200$ se předzápal musí změnit o 9° a při maximálních otáčkách jeho výkon činí až 15 kW. [2] [3]

Pokud je předstih menší než optimální (stupeň pootočení je nižší k HÚ), pak směs hoří ještě v průběhu expanze. Kvůli tomu není možné využít veškerý tepelný potenciál obsažený v palivu, dochází k velkým tepelným ztrátám, k přehřátí motoru, protože se teplo vstřebává do stěn válce a pístu, a tudíž dochází ke snížení výkonu motoru a počtu otáček.

Pokud je předstih naopak větší než optimální (stupeň pootočení je větší k HÚ), pak směs shoří ještě před dosažením pístu HÚ, takže maximální tlak neodpovídá správné poloze klikového mechanismu a tlaková špička může působit i proti pohybu pístu. Motor se projevuje detonačně – velmi se snižuje výkon motoru, zvyšuje se jeho opotřebení a počet otáček se snižuje. [2] [3]

3.2. Vliv předstihu zážehu na spotřebu paliva

Pokud není předstih zážehu nastaven správně, dosahuje výkon nižších hodnot. Výkon je nepřímo úměrný specifické spotřebě paliva, a tedy se snižujícím výkonem, roste měrná spotřeba paliva. Měrná indikovaná spotřeba je definována jako spotřeba paliva na vykonání práce jedné kilowat hodiny.

Měrná spotřeba paliva je nepřímo úměrná předstihu zážehu. Tedy při zvětšování předzápalu dochází ke snížení měrné spotřeby. Je tomu naopak oproti objemu emisí škodlivin, proto je při nastavování motorů nutné hledat ekvilibrium.

4. Optimalizace zapalování

Pro ověření dosavadních teoretických znalostí využiji pístový, zážehový, dvoutaktní, dvouválcový motor s objemem válců 594,5 cm³, využívaný v automobilech Trabant 601 značky VEB Automobilwerke.

Mým úkolem byla modelace různých křivek předstihu zážehu a následné porovnání výkonu motoru při jednotlivých křivkách. Dále jsem se zaměřil na rychlost nastartování, tedy interval mezi sepnutím obvodu startéru a volnoběžnými otáčkami. Hodnoty jsem měřil na zahřátém motoru ve dvouhodinovém intervalu, abych minimalizoval nepřesnosti způsobené teplotou a tlakem okolního vzduchu.

Motor bylo nutné přestavět na invertní letecký motor s převodem na vrtuli. Následně jej osadit základní palivovou soustavou, kterou tvoří palivová nádrž, palivové potrubí, hlavní palivový kohout a karburátor značky BVF, typ 28HB2-8, jenž disponuje sytičem, který zjednodušuje proces startování „studeného“ motoru. V neposlední řadě jsme doplnili karburátor o vzdálený mechanický ovladač plynu. Dále jsme vyrobili výfuk s objemem vypočítaným pro správný čistící účinek válců v taktech výfuku a sání. Zapalovací soustava se skládá ze zdroje elektrické energie, v mém případě se jedná o automobilový akumulátor Bosch S4 004, s kapacitou 60 Ah, dvojicí indukčních cívek, každá s napětím 6 V, dvojicí zapalovacích svíček SUPER L14YC značky Brisk, nízkonapěťovou a vysokonapěťovou kabeláží. Součástí je samozřejmě samotné zapalování, kde bylo původní kontaktní kladívkové zapalování vyňato a tento prostor upraven pro elektronické zapalování Jawa-ČZ-Trabant ignition vyráběné společností IMF Soft. Elektrická soustava byla doplněna o další prvky jako elektrický startér značky Valeo, typ D6G32 s výkonem 1,3 kW a s devíti zuby, alternátor s usměrňovacím blokem Ecia CD 01, s $U_z = 24$ V a kapacitou kondenzátoru 2,2 μ F, či spínací skříňku, která má 3 polohy – I. obvod vypnutý, II. obvod zapnutý, III. zapnutý obvod startéru. Ozubené kolo elektrického startéru je připevněno na hřídel převodu za vrtuli (z předního pohledu), na druhou stranu hřídele je připevněn převod (klínovým řemenem) na alternátor.



Obrázek 3: Přestavěný letecký motor. Zdroj: Autori.

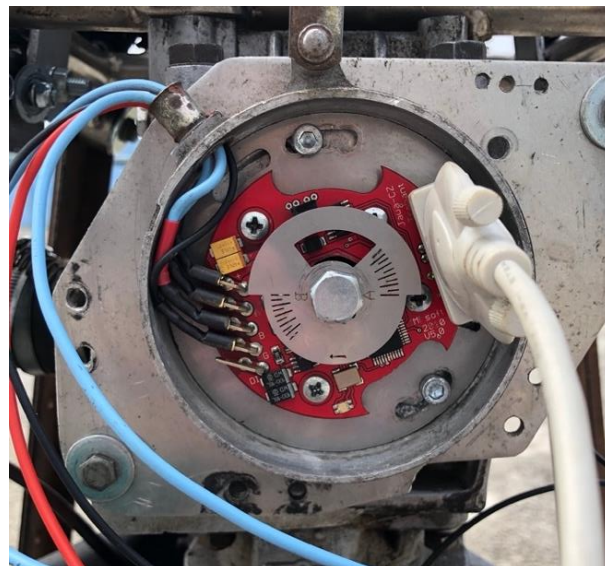
Do původního krytu zapalování je nutné vyřezat otvor pro kabel linky RS232. Pokud by nebylo zapalování zakryté, tak při vyšším osvětlení v místnosti nebo venku dochází k nepřesnému snímání IR snímače.

Zapalovací soustavu je nutné zapojit dle schéma výrobce. V našem případě jsem dodatečně uzemnil blok motoru k zápornému pólu akumulátoru, zapalovací svíčky jsou tedy uzemněny na akumulátor a zapalování je uzemněno přes blok motoru. Spínací skříňka je zapojena sériově před cívky, startér i alternátor jsou zapojeny v samostatném okruhu (nezávisle na okruhu zapalování) a uzemněny na blok motoru. Při sepnutí spínače startéru je veden elektrický proud od kladného pólu akumulátoru na svorku hlavního a pomocného (přes spínací skříňku) vinutí zasouvacího elektromagnetu. Alternátor je připojen na kladný pól akumulátoru a přes žárovku ve spínací skřínce je veden budící proud na kotvu alternátoru.

Zapalování Jawa-CZ-Trabant ignition je elektronické zapalování tvořené integrovanými obvody a vybavené IR snímačem, stínítkem, konektory na napájení a buzení cívek, ale také výstupem/vstupem pro kabel sériové linky RS232.

Na nově nainstalovaném zapalování je nutné nastavit základní předstih zážehu pomocí plechového stínítka (viz obrázek 4). Libovolný válec se uvede do HÚ a stínítko se pootočí od referenčního bodu (0°) o takovou hodnotu, jakou si zvolíme pro předstih zážehu. V našem případě jsme zvolili předstih zážehu 37°. K tomu slouží stupnice na stínítku, která je rozdělena ryskami po 5°. Stínítko slouží pro oba válce, každému přísluší plocha 180°, je tedy účelné nastavovat předstih na straně stínítka pro 1. válec a současně mít v HÚ 1. válec.

Jak jsem psal výše, elektronické zapalování obsahuje port VGA. Po propojení kabelem sériové linky RS232 a počítačem s obslužným softwarem Ignition Control V7.1, jsme schopni zapalování ovládat a aktivně sledovat online data motoru.



Obrázek 4: Elektronické zapalování Jawa-ČZ-Trabant. Zdroj: Autori

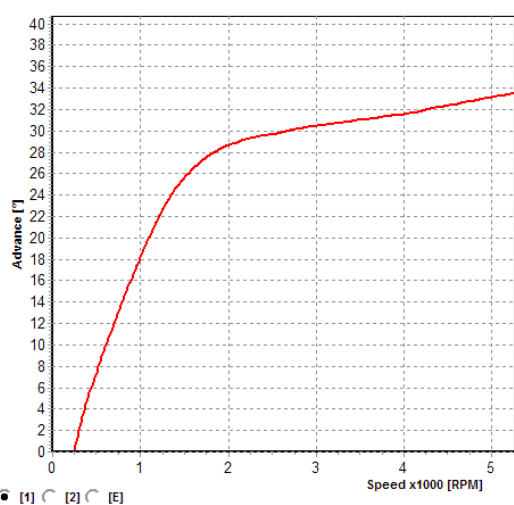
4.1. Modelace křivky předstihu zážehu a měření výkonu motoru

V programu Ignition Control V7.1, v záložce křivky předstihu si jsme schopni zobrazit křivku předstihu, jenž je nahraná v paměti

elektronického zapalování. Tuto křivku si následně můžeme libovolně (v mezích funkčnosti) modelovat. Modifikovaná křivka se v paměti zapalování automaticky nemění, je nutné ji nahrát a nahradit křivku původní.

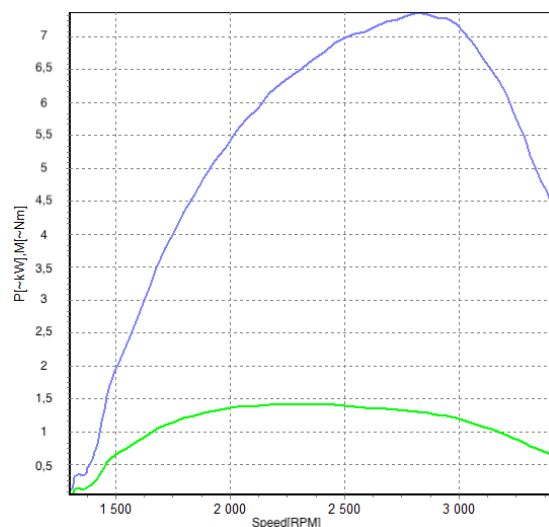
Po modelaci křivky lze měřit výkon motoru. K tomu slouží funkce akcelerační brzdy, která provádí pětisekundový záznam otáček motoru s následným výpočtem derivace (zrychlení) otáček, která úměrně odpovídá krouticímu momentu motoru. Před použitím je nutné zadat omezení otáček motoru, v našem případě to je 6000 ot.min⁻¹. Samotný výpočet začíná při volnoběžných otáčkách a následně krátce přidáme plný plyn.

Má základní křivka (obrázek 5) předzápalu byla stažena z internetového fóra, které se zabývá úpravou křivek pro motory Trabant, kde byla po zkušenostech čtenářů vyhodnocena jako velmi efektivní, tedy výkon motoru dosahoval vyšších hodnot, a naopak spotřeba klesla oproti křivce dodávané výrobcem zapalování IMF Soft.



Obrázek 5: Základní křivka předstihu zážehu. Zdroj: Autori.

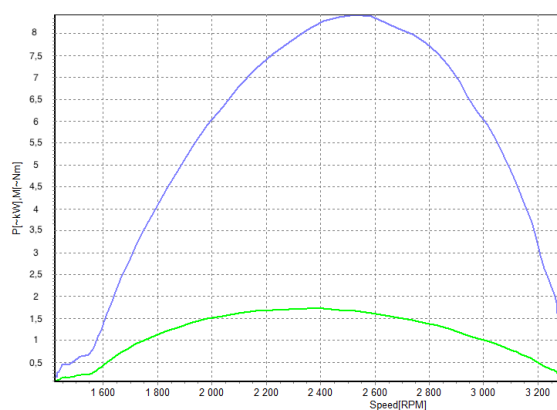
Hodnoty naměřené z funkce akcelerační brzdy jsou viditelné na obrázku 6. Maximální výkon 7,5 kW byl dosažen v otáčkách 2800 ot.min⁻¹. Start byl proveden bez sytiče. Hodnota naměřeného výkonu ve srovnání s udávanými parametry výrobce motoru je samozřejmě nižší, kvůli nasazené vrtuli na motoru.



Obrázek 6: Akcelerační brzda základní křivky předstihu zážehu. Zdroj: Autori.

Zásadní změna u 1. modifikované křivky předstihu zážehu spočívá ve zvýšeném předstihu zážehu při volnoběžných otáčkách. Za touto modifikací si slibuji kratší interval startování (viz kapitola 4). Předpověď byla splněna – startování trvalo o poznání kratší dobu (bez sytiče).

Modifikovaná křivka se osvědčila nejen po stránce rychlosti startu motoru, ale také z pohledu výkonnosti (obrázek 7). Maximální výkon se navýšil o 1 kW na rovných 8,5 kW při 2540 ot.min⁻¹. Dosáhnutí vyššího výkonu při nižších otáčkách motoru přisuzuji většímu předzápalu při shodných otáčkách. U 1. modifikované křivky předstihu zážehu dosahuje maximální předzápal hodnoty 33° už od 1850 ot.min⁻¹, zatímco u základní křivky předstihu zážehu při totožných otáčkách dosahuje pouze 28° pootočení klikové hřídele.



Obrázek 7: Akcelerační brzda 1. modifikované křivky předstihu zážehu. Zdroj: Autori.

Při druhé modifikaci jsem předstih zážehu u minimálních otáček zvedl o 2° oproti 1. modifikaci na 14°. Předpokládám, že se mnohem více zkrátí interval startování. Maximální předstih zážehu – 37° je dosažen už při 1800 ot.min⁻¹.

Měření výkonu motoru přes funkci brzdy jsem prováděl opakovaně, ale při všech pokusech došlo při 1900-2000 ot.min⁻¹ k náhlým detonacím, a tedy zákonitě i k poklesu výkonu. Toto

chování připisují k velkému předzápalu při daných otáčkách. Maximální výkon převyšoval 4,25 kW při 2750 ot.min⁻¹. Oproti základní křivce předstihu je při 2750 ot.min⁻¹ předzápal větší o 7°. Taková vysoká hodnota předzápalu daných otáčkách motoru působí detonačně, a tedy maximální výkon motoru je radikálně snížen. Interval startování byl na stejné úrovni jako při předzápalu 10° (volnoběh).

Třetí modifikací křivky předstihu zážehu chci ověřit trend z předchozí modifikace. Předstih zážehu při minimálních otáčkách jsem navýšil na 18° a předpokládám, že interval startování se zvětší. Maximální předzápal je, jako v minulém měření, na stejné úrovni – 37°, ale je dosažen už při 1200 ot.min⁻¹. Očekávám další snížení výkonu.

Predikce se potvrdila, a tedy s následným zvyšováním předzápalu klesá výkon motoru. Maximální výkon motoru je necelých 4 kW při 2560 ot.min⁻¹ a následně dochází k propadu výkonu. Tak jako v předchozím případě to připisují značně většímu předzápalu, než je pro dané otáčky optimální. Interval startování se zvýšil, tudíž není tato modelace křivky předzápalu optimální pro testovaný motor.

5. Závěr

Zapalovací soustava má velký vliv na správný a bezpečný chod motoru. Je ovlivňován řadou faktorů, jako je elektrická vodivost směsi ve válci, rychlostí hoření, nebo počtem zapalovacích svíček v komoře. Rychlost hoření je závislá na přebytku vzduchu, počtu otáček motoru nebo tepelné vodivosti válce.

Pro správný chod motoru v celém spektru otáček je neméně důležitý předstih zážehu. Zajišťuje zapálení směsi před HÚ v závislosti na několika aspektech, zejména však otáčkách a zatížení motoru. Při správném seřízení je docíleno nejvyššího výkonu, nejnižší spotřeby a emisí výfukových plynů. Při starších soustavách byl ovládán mechanicky – otáčkovým a podtlakovým regulátorem. V dnešní době je mechanismus nahrazen snímači a předzápal řízen impulzy řídicí jednotky.

Po měření výkonu a intervalu startování na čtyřech různých křivkách předstihu zážehu je možné s jistotou označit nejvýkonnější z nich. Jedná se o 1. modifikovanou křivku předzápalu, jejíž nejnižší předzápal činí 10° a maximální 33° už v 1850 ot.min⁻¹. Vybraná křivka dosahuje nejvyššího výkonu 8,5 kW při 2540 ot.min⁻¹. Při dalším zvyšování předstihu, tedy snižování otáček při maximálním předzápalu dochází ke shoření směsi ještě před dosažením pístu HÚ, tlaková špička přichází před optimálním rozložením klikové hřídele, snižuje se výkon motoru a v krajním případě může píst působit proti chodu motoru. U základní křivky je předstih zážehu (při stejných otáčkách motoru) nižší, nevyužíváme celý tepelný potenciál obsažený v palivu. A i z pohledu rychlosti startování se tato křivka ukázala být nevhodnější.

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".

Reference

- [1] KŘÍŽ, J. 2008. Pohonná jednotka. 1. vyd. Žilina: EDIS, 2008. 285 s. ISBN 978-80-8070-872-6.
- [2] MAKSÁJ, A. V. a POLASKIJ, H. I. Teorie leteckých pístových motorů. Praha: Naše vojsko. 283 s.
- [3] BENÁČEK, R. 2017. Vliv předstihu zážehu na konečné složení spalin: diplomová práce. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2017. 55 s.
- [4] ADAMEC, J. a KOCÁB, J. 2008. Letadlové motory. Praha: Nakladatelství Corona, 2008. 176 s. ISBN 978-80-86116-54-9.

Marek Vorlíček – narozený dne 10. 6. 1999 v Ostravě absolvoval v roce 2018 Gymnázium Hladnov v Ostravě. Následně v roce 2018 nastoupil ke studiu na Žilinské univerzitě v Žiline, obor profesionálny pilot.

FUNDING OPTIONS OF REGIONAL AIRPORTS IN THE CONTEXT OF PRESENT LEGISLATION

MOŽNOSTI FINANCOVANIA REGINÁLNYCH LETÍSK V KONTEXTE SÚČASNEJ LEGISLATÍVY

Lukáš Vyskoč
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
vyskoc3@stud.uniza.sk

Tatiana Remencová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
tatiana.remencova@stud.uniza.sk

Abstract

The presented article is focused on funding options of regional airports. It describes the provision of state aid to regional airports, and it defines the regional airport, its specifications, and problems. From the view of the present legislation, it evaluates the European Union legislation and its application, it also analyses the state aid provision in civil aviation. In the context of the ongoing Covid-19 pandemic, it describes the situation in air transport and solves the provision of state aid to regional airports in Slovak Republic. Based on acquired knowledge and information, it suggests the changes in the legislation, and it brings a new vision how to improve the situation of regional airports not only in Slovak Republic, but also in the world.

Keywords

Regional airports, state aid, airport financing, airport business models, Covid-19

1. Úvod

Spoločnosť vníma dopravu ako najdôležitejšiu súčasť svojho života. Do tejto súčasti patrí aj letecká doprava, ktorá sa v priebehu rokov uberala liberalizáciou a premenou, čo znamená aj, že sa stala viac dostupnejšou pre verejnosť. Letisko sa teda stalo miestom, z ktorého je možné vycestovať do zahraničia, za prácou, za rodinou, alebo na dovolenku. Toto vnímanie letiska je z hľadiska cestujúceho pochopiteľné, ale ak sa na to pozrieme z iného uhla pohľadu, letisko nepredstavuje iba miesto, ktoré spája vzdialené miesta a mestá, ale zahŕňa aj niekoľko ďalších funkcií. Letiská predstavujú veľmi dôležité subjekty z hľadiska hospodárskej a sociálnej súdržnosti, stimulácie cestovného ruchu, zamestnanosti a taktiež uľahčenia prístupu k základným službám. Pojem letisko bol jasne definovaný a všetky aspekty poznania a vývoja leteckej dopravy sa museli pretaviť aj do vývoja samotných letísk. Touto cestou sa dostávame k pojmu regionálne letisko, ktoré je už definované konkrétnejšie. Problematike regionálnych letísk sa venuje mnoho výskumov, ktoré potvrdili, že predstavujú stratové subjekty. Vzhľadom na túto skutočnosť nastáva otázka riešenia problémov financovania týchto letísk. Z praxe vidíme, že regionálne letiská nie sú schopné dobre sa rozvíjať bez finančnej podpory, ale častokrát je to aj neochota manažmentu a vlastníkov letísk, ktorá vedie k neefektívnosti daných subjektov. Podpora letísk zo strany štátov je nedostatočná a prideľovanie financií je zložitý problém. Príchod pandémie Covid-19 tiež spôsobil rozruch v tejto oblasti, a tak istým spôsobom vytvoril priestor na zmeny. Model podnikania letiska pokladáme v tomto prípade za veľmi dôležitý, pretože je priamo prepojený s financovaním, teda jasne definuje, akým spôsobom, a za akých podmienok bude letisko financované podľa platnej legislatívy. Cieľom tohto článku je popísať situáciu regionálnych letísk, analyzovať poskytovanie

štátnej pomoci regionálnym letiskám v SR a navrhnúť úpravy v legislatíve tak, aby bola jasnejšia a dostupnejšia pre všetky regionálne letiska.

2. Zhodnotenie situácie v zahraničí a SR

Regionálne letiská priniesli možnosti leteckým spoločnostiam vytvoriť model nízko-nákladových leteckých spoločností, aj vďaka ich dobrej dostupnosti v porovnaní s klasickými letiskami. Práve nízke poplatky, ktoré regionálne letiská majú, sú vhodné pre ich druh biznisu v letectve. Huderek-Glapska a Nowak (2016) vo svojom výskume potvrdili, že vďaka nízko-nákladovým dopravcom stúpa množstvo prevádzky na regionálnych letiskách, čo je veľmi dôležité pre ich ďalší rozvoj [1]. Výskumy, ktoré boli vypracované počas pandémie Covid-19, ale aj pred ňou, priniesli množstvo informácií o stave leteckej dopravy a regionálnych letiskách. Jeden z mnohých výskumov, ktorý považujeme za dôležitý Srikar Chintala a kol. (2020) hovorí o potrebe opakovania zbierania dát na overenie pravdivosti už zozbieraných dát, pretože sa očakáva, že pandémia koronavírusu mohla tieto údaje obecné zmeniť a vyhodnocovanie v celku novších údajov sa môže zdať chybné [2]. Príspevok Alessandro Massaro a kol. (2020) skúma existujúce partnerstvá a spoluprácu medzi regionálnymi letiskami v južnom Taliansku, na severe Nórska a Cypruse. Zameriava sa hlavne na turizmus a hľadá údaje na potvrdenie teórie o rozvoji niekoľkých odľahlých letísk pomocou geografických nástrojov na podporu ekonomiky a finančného plánovania [3]. Keďže pandémia ochromila sektor leteckej dopravy o veľké zisky, príspevok Peter Forsyth a kol. (2020) sa zameriava na analýzu letiskových poplatkov. Sleduje vývoj ceny, ktorý sa snaží stále udržať na nízkej hodnote, čo môže spôsobiť nestabilitu letiskových

spoločností. Rieši sa tu najmä otázka dostatočnej finančnej pomoci, aby sa tieto ceny letiskových poplatkov nezvyšovali [4]. Privatizácia letísk je tiež jedna z tém, ktorá sa často skloňuje s regionálnymi letiskami. Príspevok Anne Graham (2020) sleduje vývoj privatizácie a jej účinnosť na letiská, nie len pred pandémiou koronavírusu, ale aj počas nej. Vystihuje dôležitosť regulácie a konkurencieschopnosti v porovnaní efektívnosti a kvality služieb [5]. Príspevok Kaitano Dube a kol. (2021) vyhodnocuje pandémiu na základe dostupných údajov. Hovoria o faktoch, ktoré prispeli k zhoršenému stavu, či bankrotu niekoľkých leteckých spoločností. Autori vnímajú fakt, že aj keď je letecká doprava otvorená novým možnostiam a revitalizácii, jej obnova bude pomalšia, ako sa predpokladá [6]. Výskum Iyer a Jain (2020) poukazuje na trvalú finančnú nestabilitu letísk v Indii, a snaží sa hľadať spôsoby, ako dosiahnuť pokrytie všetkých nákladov, ale bez zisku. Podobne sa tejto problematike venuje aj príspevok Kazda a kol. (2017), kde sa spomínajú vysoké náklady na základe zabezpečenia všetkých opatrení ochrany a bezpečnosti [7] [8]. Jedna zo štúdií Villacé-Molineru a kol. (2021) sa zamerala na riziko cestovania počas pandémie Covid-19. Autori skúmali dôvody, prečo sa cestujúci rozhodli zrušiť let, alebo letieť plánovaným letom. Týmto spôsobom chceli pochopiť tieto dôvody, a na základe toho zlepšiť služby a atraktivitu ponuky, či už z pohľadu cestovných kancelárií, leteckých spoločností, alebo samotných letísk [9]. Vplyv regionálnych letísk na rozvoj regiónu bol založený v začiatkoch na letoch na krátke vzdialenosti. To potvrdzuje aj príspevok Tveter (2017), ktorý sa zaoberal, že takáto prevádzka má zmysel aj svoje pozitíva, ale nie tak veľké na populáciu a zamestnanosť. Výskum priznáva, že regionálna prevádzka nemusí byť prínosom pre daný región [10]. Ak sa pozrieme na výskumy regionálnych letísk v SR tak vidíme, že aj tu autori našli pár možností ako zlepšiť situáciu. Napríklad príspevok Novák Sedláčková a Švecová (2018) hovorí o veľkom potenciály letiska Piešťany vďaka jeho polohe v blízkosti Piešťanských kúpeľov. Keďže je tu problém splniť podmienky na schému štátnej pomoci navrhujú, aby sa letisko zameralo na aktivity, ktoré nesúvisia s leteckými aktivitami [11]. Výskum Kazda a kol. (2017) porovnával 3 malé letiská v SR a to Letisko Piešťany, Letisko Žilina a Letisko Poprad z ekonomického pohľadu na región. Aj keď letiská majú pozitívny vplyv na región, nedokážu si zaobstarať dostatočné zisky a pohybujú sa na hranici bankrotu [7]. Príspevok Alena Novák Sedláčková a kol. (2019), ktorý sa zameriava na finančnú situáciu letísk v SR so zameraním na kategóriu letísk do 200 000 cestujúcich ročne hovorí o zmene, ktorá prišla s nariadením EÚ 2017/1084 a vďaka tomuto nariadeniu sa MINDOP SR rozhodlo vypracovať legislatívu financovania letísk, ktorá by mala zlepšiť postavenie letísk v SR [12]. Výskum Tomová a kol. (2019) sa zamerala na rentabilitu letísk v SR. Zistili, že jediné letisko v SR, ktorého prevádzka je čisto civilná a vytvára zisk, je Letisko Košice. Vysvetľujú to tým, že predstavuje monopol a nemá žiadnu konkurenciu v okolí na rozdiel od ostatných letísk s civilnou prevádzkou. Na druhej strane, straty ostatných letísk vnímajú ako dôsledok neskorých implementácií európskych smerníc, ktoré by mohli pomôcť [13] [23].

3. Nariadenia EÚ

Nariadenia EÚ sa zameriavajú predovšetkým na trhové hospodárstvo a jeho podmienky. Spočiatku podmienky čerpania štátnych dotácií neboli jasne definované, preto sa EÚ v roku 2014 rozhodla vytvoriť nariadenie, ktoré uľahčilo letiskovým spoločnostiam čerpať financie. Ešte v ten rok vláda SR prijala

zákon č. 299/2014 Z.z., v ktorom bolo jasne deklarovaná platnosť tohto európskeho nariadenia.

Problémom týchto nariadení je to, že sú v niektorých prípadoch všeobecné, čo prináša isté pozitíva, ale v prípade letísk v SR to dosahuje skôr opačný efekt. V prvom rade vznikol problém s definovaním pojmu regionálne letisko, kde bolo potrebné vytvoriť jasnejšiu definíciu. Preto v roku 2017 prišlo k zmene, a tým sa otvorila možnosť lepšieho čerpania dotácií pre letiskové spoločnosti. Každé regionálne letisko je jedinečné a nemožno sa na ne pozeráť, ako na jeden a ten istý objekt záujmu. Predovšetkým je to otázka spoločného záujmu hospodárskeho rozvoja regiónu. Myslíme si, že by bolo najideálnejšie, ak by sa spoločný záujem nediskutoval len na Európskej, alebo národnej úrovni, ale aj na lokálnej úrovni samotného letiska. Nie je dobré, ak sa zameriavame na budúcnosť letísk bez plánov, ktoré žiaľ v SR chýbajú. Treba si uvedomiť, že nie je nutné letiská zväčšovať, alebo stavať nové, skôr odporúčame zamerať sa na regionálne letiská existujúce, dôsledne vnímať ich potreby a tam smerovať pomoc. Počet daných regionálnych letísk je podľa nášho názoru priaznivo dostatočný, a preto by sa mala štátna pomoc zameriavať najmä na modernizáciu regionálnych letísk, a to v otázke ich efektívnosti a ekológie [14].

3.1. Slabá transparentnosť

Ako ďalší problém v tejto oblasti vnímame vymáhanie práva k informáciám, kedy práve pri letiskových spoločnostiach je znížená transparentnosť. Problém je nie len v dostupnosti údajov, ale aj v neprehľadnosti všetkých ekonomických informácií zo strany letiskových spoločností. Kompletne finančné údaje a štatistiky bývajú väčšinou spoplatnené a verejnosti nedostupné. Problém vzniká aj s neskorým zverejňovaním výročných správ. Práve tu vnímame potrebu stanoviť dátum vydania prípadne lehotu, do ktorej by mala byť výročná správa zverejnená. Tým by sa vytvoril tlak na letiskové spoločnosti, kedy by aj sama letisková spoločnosť mala lepší prehľad o svojom finančnom stave. Odôvodnenie tohto opatrenia je, že predovšetkým by to pomohlo vedcom a ľuďom z praxe, ktorí by sa mohli opierať o novšie údaje, a na ich základe nich lepšie zostaviť riešenia pre letiskové spoločnosti už na začiatku roka.

3.2. Konceptia pre budúce generácie

Prebiehajúca pandémia Covid-19 spôsobila silnú krízu, a tak aj drastický pád všetkých leteckých spoločností, na čo doplatili aj letiská v celej Európe. Okrem tohto scenára sa tak otvárajú nové možnosti, ako by sme mohli všeobecne letectvo pozdvihnúť. Myslíme si, že je potrebné vypracovať praktický plán, ktorý by nasmeroval budúcnosť leteckej dopravy na Európskej úrovni, ale zároveň by mohla EÚ podporiť štáty, ktoré by takýto plán schválili a vytvorili si na základe neho svoje národné koncepcie. Vďaka tomu by sa mohla pozdvihnúť letecká doprava v postihnutých regiónoch, ktoré sú v tejto chvíli zanedbané, potrebujú investície a podporu, čím by sa zvýšil dopyt aj po službách leteckej dopravy. Týmto cieľom by sme dokázali postupne naplňať kapacity letísk, ktoré sú k dispozícii.

4. Metodológia

V tomto článku skúmame možnosti financovania regionálnych letísk v kontexte súčasnej legislatívy. Vzhľadom na súčasnú situáciu pandémie koronavírusu hodnotíme poskytovanie

štátnej pomoci. Vybrali sme si 5 letiskových spoločností (právna forma: akciová spoločnosť) a to: Letisko M. R. Štefánika, Letisko Košice, Letisko Piešťany, Letisko Poprad-Tatry a letisko Žilina-Dolný Hričov. Metodika bola rozdelená na 2 časti. Prvá časť spočívala vo vyhľadanií údajov o poskytnutých dotáciách a príspevkoch letiskovým spoločnostiam v SR (2015-2020). Pri vyhľadavaní týchto informácií sme použili webovú stránku MINDOP SR, následne sme dané údaje analyzovali. Druhá časť pozostávala z výskumu uskutočneného pomocou dotazníka. Ten pozostával z niekoľko otázok ohľadom štátnej pomoci poskytovanej letiskovým spoločnostiam. Okrem dotazníka sme kontaktovali aj nami zvolenú letiskovú spoločnosť a konzultovali sme dodatočné otázky.

5. Štátna pomoc letiskovým spoločnostiam v SR ako jedna z aktuálnych možností financovania

Tabuľka 1: Žiadané financie dotácií a príspevkov v eurách za roky 2015-2020 (Bežné transfery). Zdroj: [15, 16].

Letiská	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bratislava	4 666 935	4 654 997	4 543 198	4 087 614	4 554 198	5 389 891
Košice	1 570 000	1 597 000	2 000 300	2 051 900	2 249 230	2 159 800
Piešťany	294 617	310 527	362 325	344 189	634 990	680 962
Poprad	612 123	627 289	678 709	692 292	840 659	978 300
Žilina	331 919	364 990	336 300	342 780	332 484	334 897
Spolu	7 475 594	7 554 803	7 920 832	7 518 775	8 611 561	9 543 850

Tabuľka 2: Poskytnuté financie dotácií a príspevkov v eurách za roky 2015-2020 (Bežné transfery). Zdroj: [15, 16].

Letiská	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Bratislava	3 323 665	2 193 054	3 724 684	3 964 958	3 309 983	5 389 891
Košice	1 320 371	803 946	1 461 691	1 842 400	1 476 294	2 159 800
Piešťany	256 097	162 113	276 338	273 933	444 073	680 962
Poprad	529 678	344 923	535 885	661 650	587 689	978 300
Žilina	300 933	203 069	266 659	301 938	241 648	334 897
Spolu	5 730 744	3 707 105	6 265 257	7 044 879	6 059 687	9 543 850

Tabuľky 1 a 2 nám referujú, aké sumy dotácií a príspevkov boli žiadané a poskytnuté letiskovým spoločnostiam v období 2015-2020. Treba však podotknúť, že od roku 2015 do 2019 platil zákon č. 299/2014 Z. z. čl. II, pričom ten sa opiera o Usmernenie o štátnej pomoci pre letiská a letecké spoločnosti, a v roku 2020 sa letiskové spoločnosti riadili podľa zákona č. 213/2020 Z. z. o odplatách a o poskytovaní príspevku v civilnom letectve [17] [18]. Tieto dotácie a príspevky sú na účel bezpečnostnej ochrany letísk a výkon záchranných a hasičských služieb. Sumy, ktoré porovnávame sú tzv. bežné transfery, ktoré sa účtujú pod účtovnou jednotkou 50,51 a 52. To prislúcha k spotrebovaným nákupom (spotreba materiálu a energie, predaný tovar), služieb (opravy a udržiavanie infraštruktúry, cestovné náhrady, náklady na reprezentáciu a ostatné služby) a osobné náklady (mzdy, zákonné a ostatné sociálne poistenie a sociálne náklady) [19]. Všetky tieto položky sú súlade so zákonom. Ak porovnáme čísla tabuľky 3 s tabuľkou 4 zistíme, že iba v roku 2020 bola čiastka poskytnutých príspevkov rovnaká, ako suma žiadaných príspevkov. Ak porovnáme jednotlivé letiská, tak najmenej vyplatené letisko bolo letisko Bratislava. Rozdiel týchto súm sa v priemere pohyboval okolo 1 milióna eur ročne. Z opačného konca vieme povedať, že najmenší rozdiel malo letisko Žilina, kde priemerný ročný rozdiel dosahoval okolo 80 tisíc eur. Podobná suma priemerného ročného rozdielu bola aj v prípade letiska Piešťany, a to okolo 106 tisíc eur. Pri letisku Poprad bol priemerný ročný rozdiel približne 158 tisíc eur. Ak sa pozrieme na rozdiel medzi rokmi, vidíme, že najproblematickejší bol rok 2016, kde všeobecne tento rozdiel za všetky letiská presiahol

približne 3,8 milióna eur, kde letisko Bratislava malo najväčší rozdiel, teda v priemere 2,4 milióna eur a najmenší rozdiel bol viditeľný pri letisku Piešťany, vo výške približne 148 tisíc eur [15] [16]. Tak ako bolo v metodike spomenuté, vytvorili sme niekoľko otázok v rámci dotazníka, ktorý sme poslali letiskovým spoločnostiam v SR. Výsledok tohto dotazníka žiaľ nebol taký, aký sme očakávali, pretože ho letiskové spoločnosti nevyplnili. Následne sme kontaktovali osoby, ktoré nám zodpovedali niekoľko otázok. Konzultácie odhalili nové zistenie v oblasti terminológie a chápania štátnej pomoci, dotácie a štátneho príspevku. Tento fakt ovplyvnil náš pohľad na štátnu pomoc. Cieľom bolo zistiť, ako toto financovanie letísk vnímajú samotné letiskové spoločnosti. Na niektoré konkrétne otázky mimo dotazníka sa nám rozhodol odpovedať jeden odborník z praxe. Keďže nás zaujímal aj postoj k eurofondom, tak sme sa dozvedeli, že v dnešnej dobe neexistuje možnosť ako čerpať takýto druh finančných prostriedkov v rámci letiskovej spoločnosti.

Ako sme už spomínali, letiskové spoločnosti si požiadali v rokoch 2015-2019 o určitú sumu finančných prostriedkov ale dostali vyplatenú len časť z tejto sumy. Treba ozrejmiť aj to, že „výška pridelených dotácií závisí na výške prostriedkov, ktoré má na tento účel k dispozícii MINDOP a na návrhu rozdelenia pre jednotlivé letiskové spoločnosti, ktorý pripraví komisia zriadená na MINDOP“. Ako už spomenul odborník z praxe, menšia suma dotácie a príspevku má zásadný vplyv na letiskovú spoločnosť tým, že nepokryva všetky náklady a je nedostatočná. Okrem toho podotkol, že v tejto dotácii sú zarátané všetky potrebné náklady spojené s plánovanou údržbou a servisom zariadení. V prípade plnej sumy sa vyjadril, že: „pretrvávajúcim problémom je čas poskytnutia týchto dotácií, nakoľko nie sú poskytované začiatkom roka, ale až v priebehu roka (máj), čo výrazne zatažuje cash-flow spoločnosti.“. Všetky letiská však potrebujú financie ihneď a nemôžu čakať na neurčitý termín počas roka. Toto môže spôsobiť finančnú destabilizáciu spoločnosti pretože cash-flow „predstavuje tok peňazí z a do spoločnosti“, a ak spoločnosť má viac výdavkov ako príjmov, tak sa môže pohybovať na hranici bankrotu [20] [8]. Aj keď si to MINDOP SR neuvedomuje, tým že poskytne letiskovej spoločnosti menšiu sumu financií môže tak obmedziť prevádzku letiska počas roka, pretože letisková spoločnosť nebude mať finančné prostriedky na zaplatenie všetkých výdavkov pri zabezpečovaní leteckej dopravy. Treba spomenúť aj úpravu zákona č. 213 Z. z. o letiskových poplatkoch, zákonom č. 341/2020 Z. z., ktorý pridáva § 25b Príspevok na zabezpečenie nevyhnutnej leteckej dostupnosti počas krízovej situácie spôsobenej ochorením COVID-19. Tento paragraf umožňuje letiskovým spoločnostiam čerpať štátny príspevok od 12. marca 2020 do 31. decembra 2021 až do výšky 85 % oprávnených nákladov. V tejto dobe je to teda jediná pomoc, ktorá vie udržať letiská v prevádzke a môže zamedziť zrušeniu alebo zbankrotovaniu letiskových spoločností, kvôli pretrvávajúcej pandémie [18] [21]. V prípade podmienky, že letisková spoločnosť nesmie byť žiadnym dlžníkom voči štátnym inštitúciám, bolo by vhodné toto opatrenie čiastočne uvoľniť znížením percentuálneho podielu na dlhu, alebo predĺžením lehoty splatnosti dlhu. Toto opatrenie by umožnilo v niektorých prípadoch žiadať alebo pokračovať v čerpaní financií. Dôležitou budúcnosťou je aj ekológia letiskovej infraštruktúry, ktorú sme tiež konzultovali. Ide najmä o zlepšenie postavenia letiskovej infraštruktúry v otázke ekológie, kde by sa po vypracovaní mohli uvoľniť finančné prostriedky z EÚ, a tým splniť určité požiadavky

a podmienky na znižovanie ekologickej záťaže. V tomto prípade sa používa termín „zelené“ letisko. Ide o letiská, kde existuje snaha zabezpečiť minimálne emisie a minimálny dopad na životné prostredie. Môže to byť napríklad kúpa vozidiel ako elektromobily, použitie alternatívnych palív a kvapalín, využitie zásad recyklačného cyklu, používanie solárnych panelov a ďalšie [22]. Pri tomto treba podotknúť, že okrem toho, že letiská budú „zelené“, budú aj menej náročné na spotrebu cudzej energie, a takýmto spôsobom môžu ušetriť časť nákladov pri spotrebe energií.

6. Záver

V našom článku sme sa zaoberali možnosťami financovania regionálnych letísk v kontexte súčasnej legislatívy. V súvislosti s touto problematikou sme popísali regionálne letisko, jeho špecifiká, problémy a zhodnotili možnosti financovania. Naše zistenia ukázali, že financovanie letísk predstavuje zložitý proces, ktorý je prepojený s modelom podnikania regionálneho letiska. Vlastníctvo letísk ako také, nevnímame ako problém. Ten skôr súvisí s nastavením modelov podnikania jednotlivých regionálnych letísk. Okrem tohto problému máme podozrenie, že v niektorých prípadoch majú letiskové spoločnosti manažment, ktorý nevie akým spôsobom chce nastavený model udržiavať. Štátna pomoc situáciu zachraňuje, ale len na hranici finančnej stability letiskových spoločností. Aj keď existujú nariadenia a zákony, ktoré upresňujú štátnu pomoc celkom zrozumiteľne, letiskové spoločnosti v SR využívajú väčšinou pomoc iba na bezpečnostnú ochranu letiska a výkon záchranných a hasičských služieb na letisku. V našom ponímaní to vnímame ako problém, za ktorým sa skrývajú dôvody, prečo sa letiskové spoločnosti v SR neuchádzajú o ďalšie druhy pomoci.

Keďže Ministerstvo dopravy a výstavby SR v minulých rokoch neposkytovalo dostatok financií (výnimka 2020), aj svojím pričinením spôsobilo to, že niektoré služby na letiskách nemuseli byť dostupné. Aj toto pokladáme za dôvod, prečo sa regionálnym letiskám v SR nedarí. Pozornosť sa zameriava najmä na letisko v Bratislave a ostatné letiská sú konzultované v oveľa menšej miere, prípadne vôbec. Hospodárske výsledky regionálnych letísk v SR sú žiaľ nepriaznivé a týmto spôsobom nie je možné udržiavať tieto letiská v prevádzke. Ak by sa štátna pomoc viac orientovala na modernizáciu regionálnych letísk a nie na kapacitu, prinieslo by to lepšie výsledky. Spôsob, ako zlepšiť finančný stav regionálnych letísk, nemusí byť len v hľadaní vytvárania zisku, ale aj v spôsobe znižovania nákladov, čo má pozitívny vplyv na viaceré odvetvia, ale aj vytvorenie ekologickejšej infraštruktúry. Tieto projekty by mohli byť financované prostriedkami z eurofondov. Taktiež je dôležité, aby si letiskové spoločnosti ujasnili svoje súčasné i budúce stratégie, pričom by ich riešili v rámci regiónu a spolupracovali na vybudovaní určitých oblastí turizmu. Cestou by mohla byť práve otvorená komunikácia medzi jednotlivými inštitúciami, ale aj verejnosťou. Na základe našej skúsenosti, kedy letiskové spoločnosti nereagovali na vyplnenie predloženého dotazníka o štátnej pomoci, hodnotíme ich spôsob komunikácie ako nedostatočný. Rozumieme ich pracovnému vyťaženiu, ale aj toto je priamou ukázkou, že komunikácia istým spôsobom zlyháva.

Na záver možno povedať, že letiská respektíve letiskové spoločnosti, sú rukojemníkmi legislatívy a vlastníkov, čo spôsobuje, že letecká doprava v SR už niekoľko rokov stagnuje. Práve tento druh dopravy pokladáme za najviac zanedbávaný zo

strany vlády SR. Odporúčame o týchto problémoch diskutovať, nie len na pôde univerzity, ale priblížiť túto problematiku aj bežným ľuďom, ktorí sú v konečnom dôsledku klientmi tejto dopravy.

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 odvetvia“.

Referencie

- [1] HUDEREK-GLAPSKA, S., NOWAK, H., 2016. Airport and low-cost carrier business relationship management as a key factor for airport continuity: The evidence from Poland [online]. 2016. [cit. 2021-02-24]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539516300724>
- [2] CHINTALA, S. a kol. 2021. COVID-19 spatiotemporal research with workflow-based data analysis [online]. 2021. [cit. 2021-04-15]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1567134820305323>
- [3] MASARO, A., ROSSETTI, S., a kol. 2021. Comparing proximity for couples of close airports. Case studies on city-airports in the pre COVID-19 era [online]. 2021. [cit. 2021-04-15]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699720305603>
- [4] FORSYTH, P. a kol. 2020. Covid -19, the collapse in passenger demand and airport charges [online]. 2020. [cit. 2021-04-15]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699720305159>
- [5] GRAHAM, A. 2020. Airport privatisation: A successful journey? [online]. 2020. [cit. 2021-04-10]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969699720305135>
- [6] DUBE, K. a kol. 2021. COVID-19 pandemic and prospects for recovery of the global aviation industry [online]. 2021. [cit. 2021-04-16]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699721000053>
- [7] IYER, K., JAIN, S. 2020. Breakeven Passenger Traffic for Regional Indian Airports [online]. 2020. [cit. 2021-04-16]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146520306335>
- [8] KAZDA, A. a kol. 2017. Small regional airports operation: unnecessary burdens or key to region development [online]. 2017. [cit. 2021-03-26]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235214651731089X>

- [9] VILLACÉ-MOLINERO, T. a kol. 2021. Understanding the new post-COVID-19 risk scenario: Outlooks and challenges for a new era of tourism [online]. 2021. [cit. 2021-04-16]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517721000431>
- [10] TVETER, E. 2017. The effect of airports on regional development: Evidence from the construction of regional airports in Norway [online]. 2017. [cit. 2021-03-26]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0739885916301408>
- [11] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A., ŠVECOVÁ, D. 2018. The regional airports position within the Slovak Republic: The case study of Piešťany Airport and the proposal of measures for its revitalization [online]. 2018. [cit. 2021-03-19]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146518303673>
- [12] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A., ŠVECOVÁ, D., 2019. Do the Slovak Airports need the State Economic Framework for Financial Support? [online]. 2019. [cit. 2021-01-05]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146519303321>
- [13] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. a kol. 2019. SLOVAK AIRPORTS AS PROFIT/LOSS MAKING ENTITIES: CONSEQUENCES FOR TRANSPORT POLICIES [online]. 2019. [cit. 2021-04-29]. Dostupné na internete: <https://jots.cz/index.php/JoTS/article/view/112/70>
- [14] Zákon č. 299/2014 Z.z. z 15. októbra 2014, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 462/2007 Z.z. o organizácii pracovného času v doprave a o zmene a doplnení zákona č. 125/2006 Z.z. o inšpekcii práce a o zmene a doplnení zákona č. 82/2005 Z.z. o nelegálnej práci a nelegálnom zamestnávaní a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 309/2007 Z.z. v znení neskorších predpisov a 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 [online]. [cit. 2021-05-02]. Dostupné na internete: <https://lnk.sk/cpre>
- [15] Ministerstvo dopravy a výstavby SR. Prehľad poskytnutých dotácií v oblasti civilného letectva [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné na internete: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/civilne-letectvo/dotacie-v-oblasti-civilneho-letectva/prehlad-poskytnutych-dotacii-v-oblasti-civilneho-letectva>
- [16] Ministerstvo dopravy a výstavby SR. Prehľad poskytnutých príspevkov v civilnom letectve [online]. [cit. 2021-05-01]. Dostupné na internete: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/civilne-letectvo/prispevok/prehlad-poskytnutych-prispevkov-v-civilnom-letectve>
- [17] Zákon č. 299/2014 Z.z. z 15. októbra 2014, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 462/2007 Z.z. o organizácii pracovného času v doprave a o zmene a doplnení zákona č. 125/2006 Z.z. o inšpekcii práce a o zmene a doplnení zákona č. 82/2005 Z.z. o nelegálnej práci a nelegálnom zamestnávaní a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 309/2007 Z.z. v znení neskorších predpisov a 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 [online]. [cit. 2021-05-02]. Dostupné na internete: <https://lnk.sk/cpre>
- [18] Zákon č. 213/2019 Z.z. o odplatách a o poskytovaní príspevku v civilnom letectve a o zmene a doplnení niektorých zákonov, Článok I., Druhá časť. Poskytovanie príspevku. [online]. [cit. 2021-04-20] Dostupné online: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2019/213/>
- [19] VRŠKOVÁ, J. 2012. Účtovná skupina 50, 51, 52 [online]. 2012. [cit. 2021-05-03]. Dostupné na internete: <https://www.danovecentrum.sk/uctovne-svztaznosti/uctova-skupina50-spotrebovane-nakupy.htm>
- [20] Podnikam.sk, 2020. Čo je to cash flow (peňažné toky)? [online]. 2020. [cit. 2021-05-11]. Dostupné na internete: <https://podnikam.sk/cash-flow/>
- [21] Zákon č. 341/2020 Z.z. ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 213/2019 Z. z. o odplatách a o poskytovaní príspevku v civilnom letectve a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení zákona č. 90/2020 Z. z., Článok I. §25b Príspevok na zabezpečenie nevyhnutnej leteckej dostupnosti počas krízovej situácie spôsobenej ochorením COVID-19 [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné na internete: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2020/341/>
- [22] EUROPEAN COMMISSION; 2020. Green airports and ports as hubs for sustainable and smart mobility [online]. 2020. [cit. 2021-05-04]. Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/research_and_innovation/green_deal/gdc_stakeholder_engagement_topic_05-1_green_airports_and_ports.pdf
- [23] Novák, A., Novák Sedláčková, A. 2010. Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva. Žilina EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2010. 125 s. ISBN 978-80-87284-05-6

CALCULATION AND SIMULATION OF THE PARACHUTIST'S MOVEMENT FROM THE JUMP FROM THE AIRCRAFT TO LANDING ON THE GROUND

VÝPOČET POHYBU PARAŠUTISTU OD VYSKOKU Z LIETADLA AŽ PO DOPAD NA ZEM

Martin Beník
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
m.benik95@gmail.com

Ľubomír Kováčik
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
kovacikl@gmail.com

Abstract

In this article, we focus on the movement of the parachutist from the jump from the plane to the impact on the ground. By creating a mathematical model based on Newton's second law, we create simulations, based on which we can determine whether the movement of a parachutist after jumping from a plane is a "free fall", or whether the action of forces and his position in the air affects the direction of his flight.

Keywords

Parachutist, Newton's second law, simulation,

1. Úvod

V tomto článku sa venujeme pohybu parašutistu od výskoku z lietadla až po dopad na zem. Vytvorením matematického modelu na základe Newtonovho II. Zákona vytvoríme simulácie, na základe ktorých sa nám podarí zistiť či je pohyb parašutistu po výskoku z lietadla „voľný pád“, alebo či pôsobením síl a jeho polohou vo vzduchu ovplyvňuje smer svojho letu. [1]

2. Tvorba matematického modelu

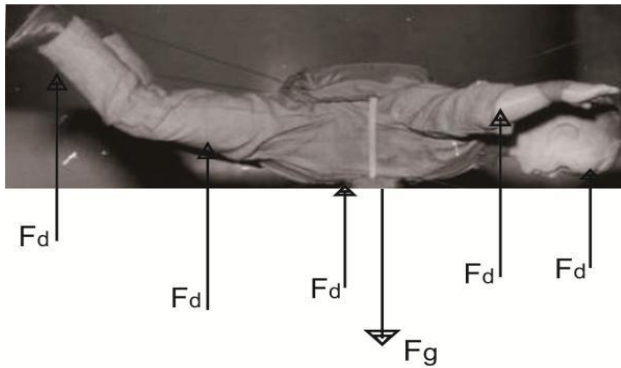
Newtonov druhý zákon vysvetľuje, ako sa mení rýchlosť objektu, ktorý je vystavený vonkajšej sile. Zákon definuje silu, ktorá sa musí rovnať zmene hybnosti (hmotnostnej rýchlosti) na zmenu času. Newton taktiež vyvinul matematický výpočet a výpočet „zmien“ vyjadrených v druhom zákone, ktoré sú najpresnejšie vyjadrené v diferenciálnych formách. [2] [4].

Tento výpočet použijeme na určenie variácií rýchlosti a polohy, ktoré zažíva objekt vystavený vonkajšej sile. Pre objekt s konštantnou hmotnosťou m , druhý zákon hovorí, že sila F je súčinom hmotnosti objektu a jeho zrýchlenia a . Pri formovaní modelu existuje niekoľko krokov vrátane prevzatia polohy parašutistu po zoskoku z lietadla, parašutistu počas pohybovej analýzy vo vzduchu a diferenciálneho vzorca rýchlosti a polohy s ohľadom na čas a analýzu pohybu parašutistu ktorý vyskočil z lietadla v polohe pripravený na otvorenie padáka. Takže zloženie matematického modelu pre parašutistu je založené na druhom Newtonovom zákone, počnúc voľným pádom parašutistu z lietadla až po otvorenie padáka. Nakoniec sú naše výsledky simulované v MATLAB. Po získaní rovnice parašutistu sa vytvorí rovnica pre simuláciu algoritmov. Konštrukcia matematického modelu pohybu parašutistu počas zoskoku pomocou použitia Newtonovho II. Zákona. Po výskoku z lietadla parašutista rozvinie jeho telo tak, aby pomocou neho vytvoril veľký odpor voči vzduchu. Tento odpor spôsobuje pohyb parašutistu nadol, ale zároveň ho posúva horizontálne čo vytvára parabolickú

trajektóriu. Rýchlosť klesajúceho parašutistu narastá až pokým parašutista nedosiahne jeho konečná rýchlosť pozície kde aerodynamický odpor bude rovný gravitačnému zrýchleniu skákajúceho. V našich výpočtoch budeme rátať s parašutistom o hmotnosti 91.6 kg (v vrátane výbavy) skákajúceho z výšky 4000 metrov s otváraním padáka v 1200m o rýchlosti v . Pri konštrukcii matematického modelu parašutistu sa počíta, že po výskoku z lietadla prejde do stabilizovanej polohy v ktorej je pripravený na otvorenie padáka. Ďalej počítame s tým že hneď po výskoku parašutista zväčší svoju efektívnu plochu voči zemi tak, aby maximalizoval svoj aerodynamický odpor a tým predĺžil čas pádu. [1]



Obrázok 13: pozícia parašutistu vo voľnom páde.



Obrázok 14: Sily pôsobiace na parašutistu počas voľného pádu.

V čase, keď parašutista vyskočí z lietadla, je možné začať uplatňovať Newtonov II. Zákon a v tom prípade predpokladať, že parašutista padá voľným pádom. Počas tohto pádu parašutista rotuje vo svojej polohe až kým nie je pripravený otvoriť padák. Matematicky to môžeme vyjadriť nasledovne: [1]

$$\sum F = ma$$

$$\sum F = F_g + F$$

$$F + F_d = ma$$

F_g je gravitačná sila parašutistu, ktorého smer je vždy smerom k centru zeme. F je sila aerodynamického odporu (ťah silou), ktorej smer je vždy opačný ako smer pohybu parašutistu. m je celková hmotnosť, ktorá zahŕňa hmotnosť parašutistu a jeho výbavy v rátnane padáku. Zrýchlenie je prvá derivácia od času, takže je možné ju zapísať ako: [1]

$$F_g + F_d = m \frac{dv}{dt}$$

A rovnicu rýchlosti vzhľadom na čas zapíšeme ako:

$$v(t) = \frac{mg - ce^{-\frac{k}{m}t}}{k}$$

Rovnicu, ktorá zahŕňa polohu diferenciálnych rovníc rýchlosti vzhľadom na čas vyjadríme nasledovne: [1]

$$x(t) = \frac{mg}{k} t + \frac{m}{k} e^{-\frac{k}{m}t} + c$$

$$x(0) = x_0$$

Vytvorením tohto predpokladu rovnica získala pozíciu parašutistu vzhľadom na čas. [1]

$$x(t) = x_0 + \frac{mg}{k} t + \frac{m}{k^2} g \left(e^{-\frac{k}{m}t} - 1 \right)$$

3. Simulácie

V tejto časti bakalárskej práce urobíme simulácie pohybových rovníc parašutistu, ktoré sme získali z predchádzajúcich výpočtov. Z výsledkov simulácie urobíme analýzu pohybu parašutistu pred otvorením padáka. [1]

3.1. Simulácia pohybu parašutistu po dosiahnutí konečnej rýchlosti

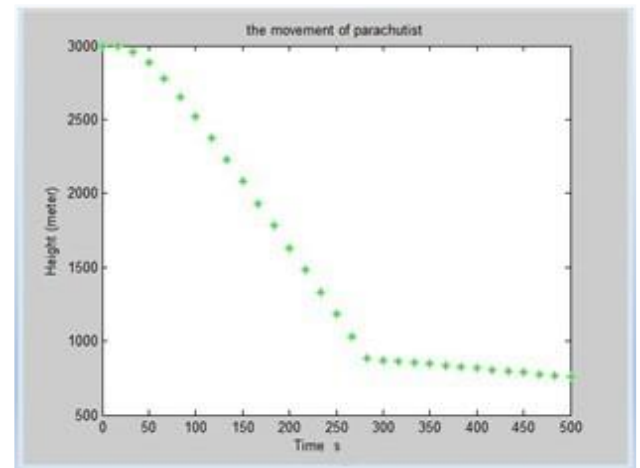
Pohyb parašutistu po dosiahnutí konečnej rýchlosti:

Parametre :

$$x_0 = 3000 \text{ m} \quad \rho = 1.2 \text{ kg/m}^3 \quad t = 500 \text{ s}$$

$$m = 91.6 \text{ kg} \quad C_{d1} = 0.16$$

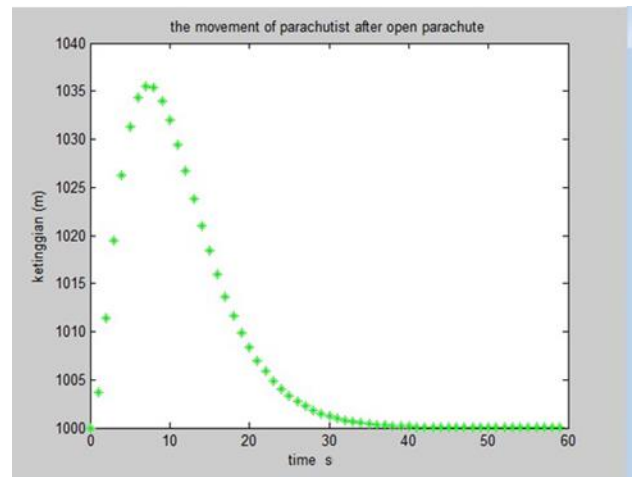
$$g = 9.81 \text{ m/s}^2 \quad C_{d2} = 39.6$$



Obrázok 15: Simulácia pohybu parašutistu po dosiahnutí konečnej rýchlosti. Zdroj: Autori.

3.2. Simulácia pohybu parašutistu po otvorení padáku

Parametre : $t = 60 \text{ s}$



Obrázok 16: Pohyb parašutistu po otvorení padáka. Zdroj: Autori.

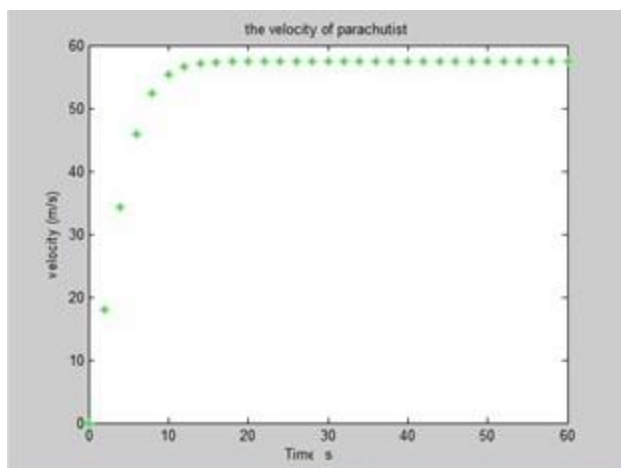
3.3. Simulácia rýchlosti parašutistu v závislosti od času

Parametre:

$$x_0 = 4000 \text{ m} \quad \rho = 1.2 \text{ kg/m}^3 \quad t = 60 \text{ s}$$

$$m = 91.6 \text{ kg} \quad C_{d1} = 0.25$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$



Obrázok 17: Rýchlosť parašutistu.

3.4. Analýza výslednej rýchlosti parašutistu

Výsledná rýchlosť je rýchlosť strmhlavého skákania, kde hodnota hmotnosť parašutistu sa rovná hodnote aerodynamického odporu alebo odporu vzduchu. Gravitácia, ktorá spôsobuje zvislý pohyb parašutistu smerom nadol sa v jednom bode rovná hodnote odporu vzduchu kvôli konštantnej hodnote gravitácie, kdežto hodnota odporu vzduchu sa zvyšuje. Gravitácia má konštantnú hodnotu lebo je závislá len od hmotnosti a gravitačného zrýchlenia, zatiaľ čo odpor vzduchu je premenná v závislosti od rýchlosti parašutistu. Aerodynamický odpor je sila spôsobená obtekaním vzduchu okolo pohybujúcich sa objektov. [2]

4. Záver

Z výsledkov simulácie pohybu parašutistov pred a po otvorení padáku je možné vidieť, že pohyb parašutistu vytvoril parabolickú trajektóriu. Táto trajektória je výsledkom aerodynamického odporu vzduchu vytvoreným telom parašutistu, z čoho môžeme usúdiť že pohyb parašutistu nepredstavuje voľný pád. Ďalej vieme na základe získaných poznatkov určiť, o aké druhy pohybu sa jedná. Po otvorení padáku sa jedná o zrýchlený pohyb, ktorého zrýchlenie by sa stále znižovalo. Odpor vzduchu totiž závisí na druhej mocnine rýchlosti, teda čím rýchlejšie sa pohybujeme, tým viac nás vzduch brzdí. Aj bez otvorenia padáku by parašutista dosiahol určitej konštantnej rýchlosti, pri ktorej by bola tiažová sila rovnako veľká ako sila gravitačná. Výsledná sila by tak bola nulová a z Newtonovho zákona vieme, že teleso sa v tomto prípade pohybuje rovnomerne priamočiario. Rovnaká situácia nastane pri otvorení padáku, len vďaka ploche a tvaru padáku je odpor vzduchu výrazne vyšší a teda k vyrovnaniu odporu vzduchu a tiažovej sily dôjde pri nižšej rýchlosti. [3]

Referencie

- [1] Journal of Physics. Construction of mathematical models the parachute jumper with change position acrobatic. [online]. 2018. Dostupné na Internet: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/974/1/012044/pdf>
- [2] Acceleration of free-fall. [online]. 2020. Dostupné na Internet:

<https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zs89xfr/revision/7>

- [3] KOREŠ, J. 2019. Seskok Parašutisty. [online]. Dostupné na Internet: <https://www.svetenergie.cz/cz/fyzikalni-poradna?itemId=83>
- [4] Bugaj, M. 2015. Aeromechanika 1: základy aerodynamiky. 1. vyd. - Bratislava : DOLIS, 2015. - 208 s., ilustr. - ISBN 978-80-970419-3-9.

DEVELOPMENT OF SECURITY MEASURES AT PUBLIC INTERNATIONAL AIRPORTS IN RELATION TO THE HISTORY OF THREATS AGAINST CIVIL AVIATION

VÝVOJ BEZPEČNOSTNÝCH OPATRENÍ NA VEREJNÝCH MEDZINÁRODNÝCH LETISKÁCH V SÚVISLOSTI S HISTÓRIOU HROZIEB PROTI CIVILNÉMU LETECTVU

Benjamín Pojedinec
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
bnpojedinec@gmail.com

Iveta Škvareková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
iveta.skvarekova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The security and safety of civil aviation at airports is important given the level of risks faced by civil aviation. It is a threat of terrorist attacks, smuggling or cyber attacks. We are trying to prevent all these threats and thus protect the health and safety of passengers.

The paper deals with the issue of safety in civil aviation. The primary goal of paper is evaluation of the current situation at selected Slovak airports with regard to safety. The paper is divided into theoretical and practical part. The theoretical part is required to present a theoretical view of basic concepts in aviation history air strikes, present and future conservation and the impact of human factors on the safety of air transport. The essence of the practical part is the evaluation of the current situation in selected Slovak airports and the implementation of a qualitative survey with the help of a questionnaire. Based on the analysis and the results of the questionnaire survey, suggestions are provided to improve safety at selected airports.

Keywords

Airport. Civil aviation. Safety. Questionnaire.

1. Úvod

Vynález lietadla umožnil človeku po prvýkrát v histórii rýchle a ľahké cestovanie cez pevniny, hory, púšte a ľadovce. Odvtedy tiež poskytuje rýchlosť, akú sme si ešte pred generáciou nepredstavovali. Letecká doprava sa tak stala bezpečným a vhodným spôsobom cestovania (Sweet, 2009). Letectvo sa vplyvom globalizácie a narastajúceho obchodu stávalo čoraz populárnejším prostriedkom, pretože nešlo iba o spôsob dopravy, ale predstavovalo akési dobrodružstvo (Eichler, 2006).

Civilné letectvo zostáva hlavným cieľom terorizmu a inej trestnej činnosti (Aviation security international, 2018). Väčšie letiská pripomínajú malé mestá a z niekoľkých logistických dôvodov sú určite obzvlášť lákavým cieľom pre teroristov. Dôvodmi sú preplnenosť terminálov a pohyb lietadiel v geografických polohách, kde nie je možné ihneď pristáť (Sweet, 2009). Ďalším aspektom útokov v leteckej doprave je etnická rôznorodosť. Tým si vyžadujú viac mediálnej pozornosti a tzv. „prestíže“. Dramatická povaha útokov v leteckej doprave teda priťahuje pozornosť médií a môže pomôcť vzbudiť strach v populácii, čo je hlavným cieľom väčšiny teroristických operácií (Hutchins, 2017). K predchádzaniu ich vzniku a včasným minimalizovaním následkov rizika je nutné rozpoznať príčiny, ktoré sú spojené so zdrojmi rizík a definovať možnosti a druhy zneužitia ľudského i technického potenciálu alebo medzery v organizácii a režimovej ochrane (Ščurek, 2008). Preto je potrebné neustále vyvíjať a aktualizovať bezpečnostné postupy, techniky a samozrejme

technológie. Letecký priemysel musí zostať otvorený novým technológiám, ako sú pokrokové zobrazovacie technológie (známe tiež ako skenery celého tela). Je potrebné tiež zabezpečiť nepretržitý výskum a vývoj spôsobov, ako je možné v súčasnosti nasadené technológie aktualizovať, aby zostali relevantné a účinné pri zvyšovaní bezpečnostnej ochrany letectva (Aviation security international, 2018).

V bezpečnostnej ochrane letectva ide o ochranu civilného letectva pred činmi protiprávneho zasahovania. Medzinárodné spoločenstvo prostredníctvom Medzinárodnej organizácie pre civilné letectvo (ICAO) reagovalo zavedením a vylepšením Annexu 17 k Chicagskému dohovoru o medzinárodnom civilnom letectve (Thomas, 2008). Existuje letecká bezpečnostná ochrana, ktorá má zabrániť škodlivým činom proti lietadlám, cestujúcim a posádke. Po hrozných útokoch z roku 2001 prijala EÚ súbor bezpečnostných pravidiel na ochranu civilného letectva. Tieto pravidlá sú pravidelne aktualizované s cieľom reagovať na vyvíjajúce sa riziká (Debyser, Pernice, 2020).

Len pri pohľade na cieľ leteckej dopravy si uvedomujeme, že bezpečnosť je kľúčovým slovom. Na druhej strane bezpečnosť musí byť zosúladená s cenovou dostupnosťou a účinnosťou. Preto by všetky služby mali byť zamerané tak, aby čo najefektívnejšie prispievali k dosiahnutiu všeobecného cieľa (Thomas, 2008). Príčinu bezpečnosti je možné riešiť tým, že dôjde k sťaženiu vstupu zločincov do chránených priestorov. Tieto priestory by potom mali byť ďalej chránené pred trestným činom odmietnutím ľahkého prístupu do vnútorných priestorov

v prípade, že odhodlaný páchatel' prekoná vonkajšie bariéry (Fischer, Halibozek, Green, 2008).

„V záujme ochrany civilného letectva pred činmi protiprávneho zasahovania sú osoby zúčastnené na leteckej doprave povinné podrobiť sa osobnej kontrole a kontrole prepravovaných vecí“ (Letisko Bratislava 2021). Letiská musia spĺňať rôzne normy týkajúce sa inšpekcií bezpečnosti letísk, v reakcii na mimoriadne situácie. Letová prevádzka na letisku sa riadi rôznymi predpismi v závislosti od povahy letovej prevádzky (Price, Forrest, 2013).

2. Ciele a metodika práce

Primárnym cieľom bakalárskej práce je zhodnotiť aktuálnu situáciu na slovenských vybraných letiskách s ohľadom na bezpečnosť. Na dosiahnutie hlavného cieľa práce boli definované sekundárne ciele:

- Vypracovať kvalitnú literárnu rešerš, ktorá je nevyhnutná k pochopeniu problematiky a umožní čitateľovi sa bližšie zoznámiť s problematikou bezpečnosti v civilnom letectve.
- Vhodnou metódou spracovať odpovede respondentov na jednotlivé otázky z dotazníkového prieskumu.
- Na základe analýz a výsledkov z kvalitatívneho dotazníkového prieskumu, poskytnúť návrhy na zlepšenie bezpečnosti na vybraných letiskách.

Bakalársku prácu tvoria odborné zdroje a štúdie nie len od domácich, ale aj zahraničných autorov a internetových stránok. Tieto zdroje sú prínosom k rozšíreniu praktických poznatkov týkajúcich sa problematiky ochrany a bezpečnosti civilného letectva.

Pre potreby spracovania bakalárskej práce bola zvolená metóda dotazníka ako kvalitatívna forma zberu údajov a informácií. Súčasťou tejto metódy je oslovenie respondentov a zodpovedanie na otázky, ktoré sa zameriavajú na zistenie aktuálnej situácie na ich pracovisku. Otázky boli zostavené tak, aby boli prispôbené danej vzorke s ohľadom na cieľ práce. Dotazník bol realizovaný výlučne anonymne, aby sa získala väčšia miera pravdivosti a poskytnuté odpovede boli hodnoverné. Respondentom bol dotazník zaslaný v elektronickej forme. Dotazníková metóda je najvyhľadávanejšou metódou v odborných prácach a na otázky vedia respondenti odpovedať v relatívne krátkom časovom rozmedzí, čo dopomohlo autorovi sa detailne venovať analýze týchto získaných údajov. Dotazník bol vyhodnotený primárne pomocou grafov a tabuliek.

Taktiež boli využité metódy dedukcie, analýzy a na základe kvalitatívneho prístupu boli spracované údaje s vysokým stupňom validity.

3. Analýza a výsledky práce

Prieskum bol uskutočnený za pomoci dotazníka, ktorý pozostával z jedenástich otázok a obsahoval uzatvorené a otvorené otázky. Jeho cieľom bolo zistiť, ako vnímajú zamestnanci letísk na SR bezpečnostnú ochranu civilného letectva, úroveň zabezpečenia a aké zmeny sú potrebné na zlepšenie a udržanie úrovne bezpečnostnej ochrany na daných letiskách.

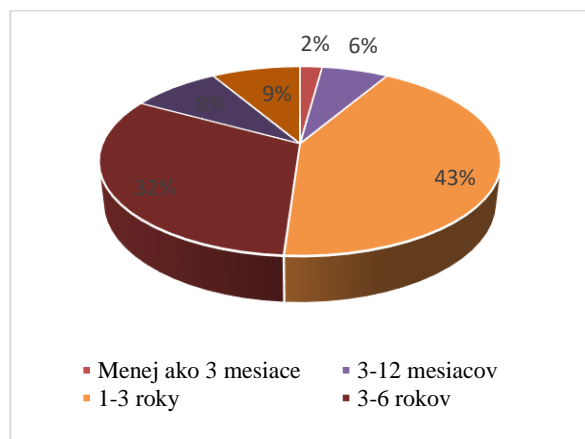
Prieskumu sa zúčastnilo celkom 47 respondentov, z toho 26 mužov (55%) a 21 žien (45%) Vek respondentov sa najčastejšie pohyboval v rozmedzí 21 až 30 rokov, nasledovaný vekovou skupinou 31 až 40. Z celkového počtu respondentov má 23 zamestnancov stredoškolské vzdelanie s maturitou, čo predstavuje takmer polovicu všetkých opýtaných. Vysokoškolské vzdelanie prvého stupňa má až 5 zamestnancov (11%) a vysokoškolské vzdelanie druhého stupňa má 16 opýtaných (34%).

4. Otázka : *Napište prosím, akú pracovnú pozíciu v rámci letiska vykonávate*

Tabuľka 2: Typ pracovnej pozície respondentov. Zdroj: Autori.

TYP POZÍCIE	POČET ZAMESTNANCOV
Pracovník bezpečnostnej kontroly	35
Handling agent	2
Check-in agent	2
Vrcholový manažment	2
Asistent predaja	1
IT systémový administrátor	1
Manažér obchodnej prevádzky	1
Asistent predaja odboru	1
Referent	1
Ostraha letiska	1

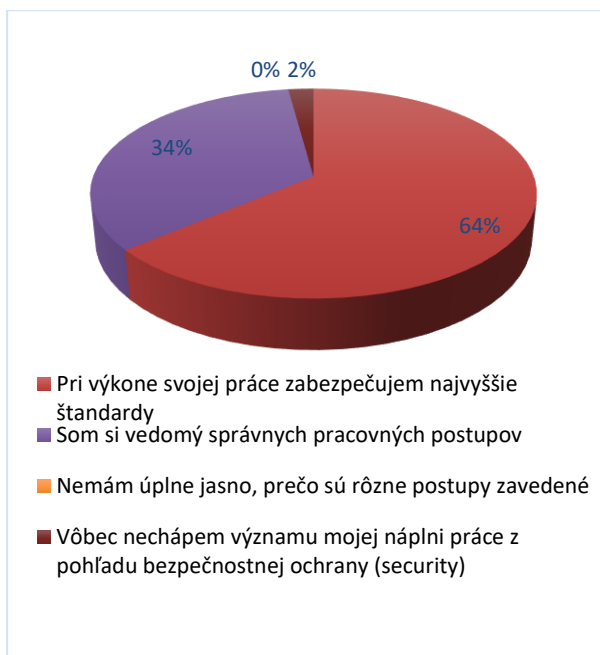
5. Otázka : *Ako dlho pracujete na danej pozícii?*



Graf 1: Dĺžka výkonu práce respondentov. Zdroj: Autori.

Zo všetkých opýtaných odpovedalo najviac na dĺžku trvania minimálne 1 rok až 3 roky (20 zamestnancov). 32% tj. 15 zamestnancov pracuje na svojej pozícii 3 až 6 rokov. Rovnako po štyroch zamestnancoch pracujú v dĺžke 6-10 rokov a 10 a viac. Dokopy 4 zamestnanci vykonávajú svoju činnosť menej ako 1 rok.

6. otázka : *Máte jasno v tom, akým spôsobom prispievate k celkovej úrovni bezpečnostnej ochrany (security) civilného letectva?*

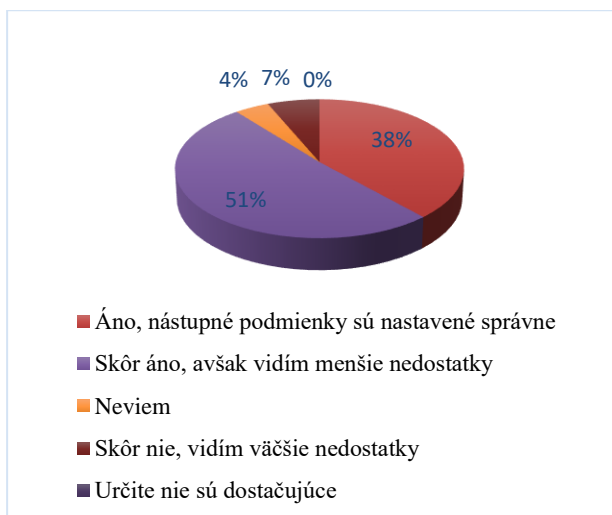


Graf 2: Spôsob prispievania k bezpečnosti. Zdroj: Autori.

30-ti opýtaní odpovedali, že pri výkone svojej práce zabezpečujú najvyššie štandardy. 34% tj. 16-ti zamestnanci sú si vedomí správnych pracovných postupov. Jeden respondent si myslí, že nechápe významu svojej náplni práce z pohľadu bezpečnosti.

Je logické, že nie všetci zamestnanci letiska boli schopní poskytovať najvyšší štandard bezpečnosti vzhľadom na povahu pracovnej pozície.

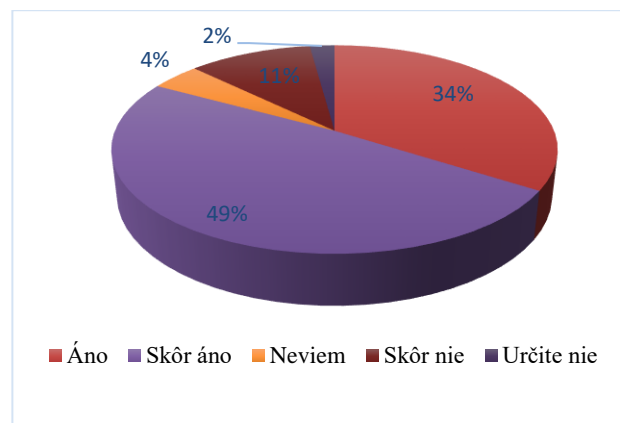
7. otázka : Domnievate sa, že nástupné podmienky v súlade so zákonom č. 143/1998 Z.z. o civilnom letectve v znení neskorších predpisov (previerka spoľahlivosti, bezúhonnosti a pod.), ktoré letisko kladie na zamestnancov bezpečnostnej ochrany sú dostačujúce ?



Graf 3: Dostačnosť nástupných podmienok. Zdroj: Autori

Na odpoveď "áno, nástupné podmienky sú nastavené správne" a "skôr áno, avšak vidím menšie nedostatky" odpovedalo dokopy až 42 respondentov. Neutrálne sa vyjadrili dvaja a "skôr nie, vidím väčšie nedostatky" odpovedali traja.

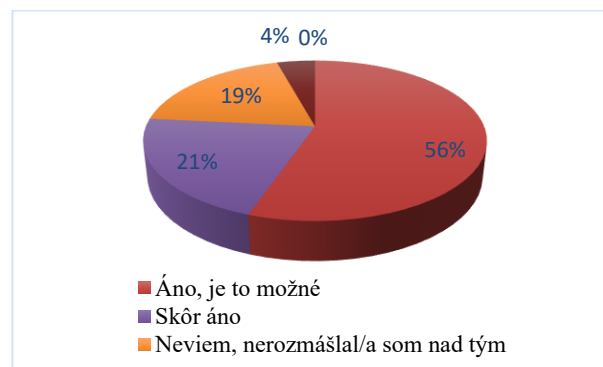
8. otázka : Cítite sa bezpečne a komfortne v aktuálne nastavených bezpečnostných pravidlách na pracovisku ?



Graf 4: Aktuálne nastavenie bezpečnostných pravidiel. Autori.

Ako možno z grafu vidieť, väčšina respondentov je toho názoru, že sa cítia bezpečne a komfortne. To potvrdzuje fakt, že až 39 respondentov úplne súhlasí, alebo skôr súhlasí. Avšak na druhej strane netreba zabúdať, že neutrálne alebo negatívne sa vyjadrilo až 8 opýtaných. Tento ukazovateľ môže naznačovať menšie pochybnosti ohľadom dostatočnej bezpečnosti a komfortnosti v aktuálne nastavených bezpečnostných pravidlách na pracovisku.

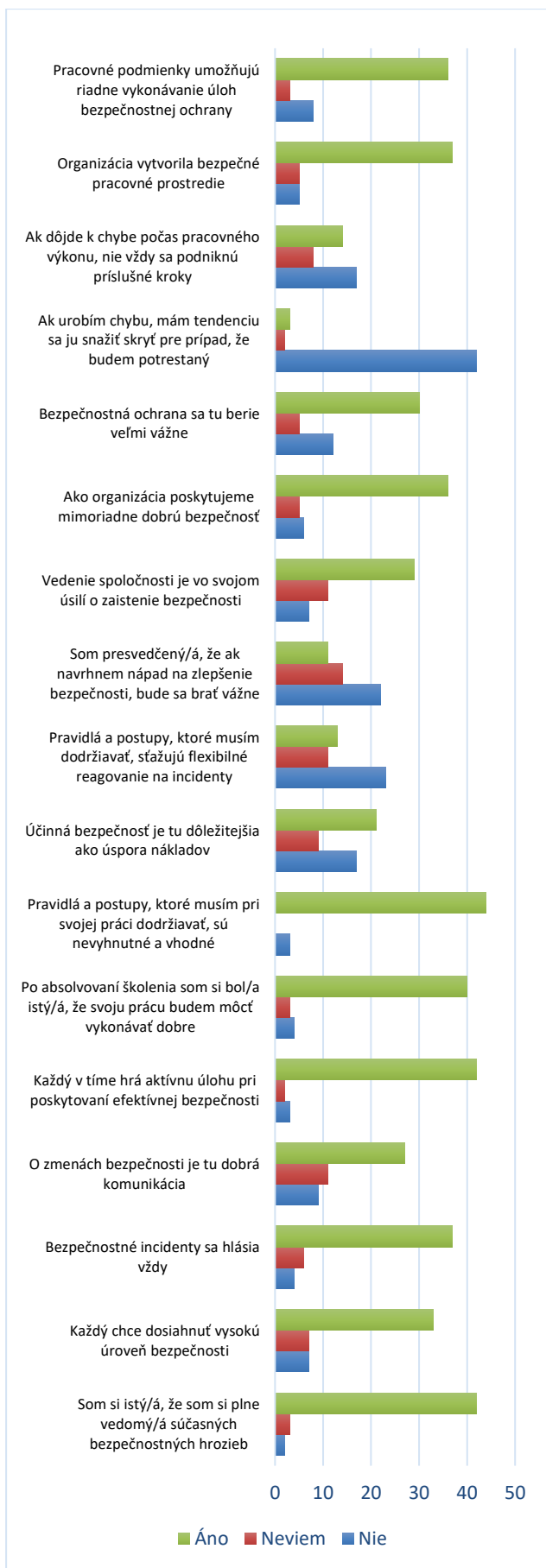
9. otázka : Ste toho názoru, že aj napriek štandardom bezpečnostnej ochrany je možné napomáhať nejakým spôsobom k spáchaniu trestného činu v civilnom letectve ?



Graf 5: Existencia spôsobu napomáhania a páchania trestného činu. Zdroj: Autori.

V prípade, ak zisťujeme stav bezpečnosti na letisku, nesmieme zabúdať na otázku, ktorá sa týka názoru respondentov o možnej existencii spôsobu napomáhania a páchania trestného činu. Veľmi zarážajúcim faktom je, že až 56% tj. 26 opýtaných si myslí, že aj napriek nastaveným bezpečnostným štandardom, je možné nejakým spôsobom napomáhať k páchaniu trestného činu. Ďalších 10 respondentov (21%) si myslí, že je to skôr možné a 9-ti respondenti sa vyjadrili neutrálne. Iba dvaja opýtaní respondenti sú toho názoru, že to nie je možné. Zistené údaje by nemali byť nepovšimnuté. Ak si priamo zamestnanci letiska myslia, že existuje riziko k napomáhaniu trestného činu, tak v takom prípade by sa to malo stať predmetom hlbšej diskusie.

10. otázka : Ako vnímate úroveň bezpečnostnej ochrany na pracovisku ako zamestnanec letiska?



Graf 7: Vnímanie úrovne bezpečnostnej ochrany na pracovisku. Zdroj: Autori.

11. otázka : Z vašej skúsenosti, viete poskytnúť návrhy na zlepšenie úrovne bezpečnostnej ochrany na vašom pracovisku ?

V poslednej otázke nášho dotazníkového prieskumu sme sa pýtali, či respondenti vedia na základe svojich skúseností poskytnúť návrhy na zlepšenie úrovne bezpečnostnej ochrany na pracovisku. Značná časť opýtaných sa vyjadrila, že vidia určité návrhy, ktoré by mohli dopomôcť k zlepšeniu úrovne bezpečnosti.

4. Návrhy na zlepšenie

a) Dôkladnejšie školenie zamestnancov

Vo všeobecnosti by sa malo dbať na vyššie požiadavky zamestnancov bezpečnostnej kontroly. Komplexnejšie preškolenie bezpečnostných pracovníkov detekcie a Ostrahy letísk. Následne treba predĺžiť dĺžku kurzu aspoň na 3-4 týždne. Spraviť terénne cvičenie, ktoré bude podmienkou na ukončenie kurzu. Zdieľanie a výmena pracovníkov detekcie so susednými letiskami v iných krajinách je určite veľké plus. Taktiež navrhujeme odborné školenia v spolupráci s policajným zborom SR.

b) Interná komunikácia

Pravidelnejšia, presnejšia a včasná komunikácia medzi jednotlivými odbormi, kolegami, vedúcimi a zamestnancami. Zavedenie povinných pravidelných porád s vedením letiska a ďalšími oddeleniami. Ide napr. o check-in s bezpečnostnou kontrolou, kde dochádza k výmene informácií, skúseností a požiadaviek = vyššia úroveň komunikácie.

c) Motivácia zamestnancov

Zamestnanec bezpečnosti nesmie byť podplatený nakoľko zodpovedá za 200 ľudí vrátane ľudí z posádky lietadla. Riešiť by to mohla nefinančná a finančná motivácia zamestnancov, aby boli motivovaní a zostali na pracovisku.

d) Vonkajšia ochrana letiska

Aktívne zabezpečenie prvej línie ochrany (plot) je nevyhnutné neustále sledovať, prípadne modernizovať. Dopomôcť by mohlo doplnkové zavedenie nového kamerového systému, ktorý pracuje s umelou inteligenciou. Po neoprávnenom vstupe osoby do bezpečnostnej zóny sa zameria na subjekt kamera. Ako sa subjekt pohybuje po priestore, predávajú si ho kamery. Obrázok ide k pracovníkovi, ktorý poskytne následné kroky k eliminácii nebezpečenstva.

e) Dôraz na vedenie a lídra

Čo sa týka vedenia, bolo by vhodné ak by vedenie napredovalo s dobou a nedržalo sa zaužívaných komunistických praktík, ktoré len znižujú úroveň bezpečnosti ako takej a demoralizujú celý personál. Najväčšou hrozbou bezpečnosti nie sú pravidlá, ale odhodlanie samotných zamestnancov bezpečnosti, nakoľko tu môžeme vidieť staré príslovie "aká práca, taká pláca."

f) Dôkladnejšie plánovanie

Nepretržitá prevádzka si vyžaduje správne plánovanie a najímanie nových zamestnancov, ktorí by mohli dlhodobo pracovať na letisku a zabezpečiť personál na striedanie pracovnej pozície. Pri kúpe a plánovaní techniky si rozumne

premýšľať a komunikovať s tímom, kto bude ten daný prístroj obsluhovať.

g) Dôraz na dodržiavanie pravidiel

Respondenti sa počas svojho výkonu práce dostali do kontaktu s omamnými a psychotropnými látkami cestujúcich, ktoré naša legislatíva nepovoľuje prechovávať, užívať či distribuovať. Neraz zamestnanci pri ručnej kontrole narazili na tieto látky, prípadne ich časti. Tieto predmety sami o sebe nie sú zakázané na palube lietadla, no ak sa v nich nachádzajú čo i len vizuálne stopy po spomínaných opiátoch, je nutné podobné predmety zadržať a osobu ktorej patria prehľadať a spraviť stery na drogy. Tento postup sa neodohral ani raz. Preto je potrebné striktné dohliadať na dodržiavanie pravidiel pracovníkov, ktorí zabezpečujú samotnú ochranu civilného letectva.

5. Záver

Predkladaná bakalárska práca sa zaoberala problematikou bezpečnosti v civilnom letectve. Cieľom práce bolo zhodnotiť aktuálnu situáciu na slovenských vybraných letiskách s ohľadom na bezpečnosť.

Bakalárska práca bola rozčlenená na teoretickú a praktickú časť. V teoretickej časti sa práca zameriavala na štyri kapitoly. V prvej bolo nutné najprv predstaviť teoretické vymedzenia základných pojmov v letectve. Druhá kapitola sa venovala histórii leteckých útokov a ich časovej nadväznosti. V ďalšej časti bola vyzdvihnutá úloha súčasnej a budúcej ochrany a bezpečnostných systémov. V poslednej kapitole teoretickej časti boli uvedené vplyvy ľudského faktora na bezpečnosť leteckej prepravy.

Podstatou praktickej časti bolo najprv zhodnotiť aktuálnu situáciu vo vybraných slovenských letiskách v Bratislave, Košiciach a v Poprade. Nosnou časťou bol realizovaný prieskum za pomoci dotazníka. Jeho cieľom bolo zistiť, ako vnímajú zamestnanci letísk na SR bezpečnostnú ochranu civilného letectva, úroveň zabezpečenia a aké zmeny budú potrebné na zlepšenie a udržanie úrovne bezpečnostnej ochrany na daných letiskách.

Na základe analýzy a výsledkov z dotazníkového prieskumu, boli poskytnuté návrhy na zlepšenie bezpečnosti na vybraných letiskách. Návrhy sa zameriavali na dôkladnejšie školenie zamestnancov, internú komunikáciu, motiváciu zamestnancov, vonkajšiu ochranu letiska, dôraz na vedenie a lídra, dôkladnejšie plánovanie a dôraz na dodržiavanie pravidiel. Všetky poskytnuté návrhy na zlepšenie a udržanie bezpečnosti vychádzali z odborného a precízneho dotazníkového prieskumu. Poskytnuté návrhy pre zlepšenie bezpečnosti v civilnom letectve boli kľúčovým bodom tejto práce. Tie by mohli byť v konkrétnejšej podobe prezentované vedeniu jednotlivých slovenských letísk.

Referencie

- [1] EICHLER, Jan. 2006. *Mezinárodní bezpečnost na počátku 21. století*. Praha: AVIS, 2006. ISBN 80-7278-326-2
- [2] FISCHER, J. Robert, HALIBOZEK, Edward, GREEN, Gion. 2008. *Introduction to Security*. 8. vydanie. USA: ELSEVIER. 528 s. ISBN 978-0-7506-8432-3

- [3] PRICE, C. Jeffrey, FORREST, S. Jeffrey. 2013. *Practical Aviation Security*. 2.vydanie. USA: ELSEVIER. 477 s. ISBN 978-0-12-391419-4
- [4] SWEET, M. Kathleen. 2009. *Aviation And Airport Security. Terrorism and Safety Concerns*. 2. vydanie. CRC Press. 384 s. ISBN-13: 978-1-4200-7888-6
- [5] ŠČUREK, Radomír. 2008. *Bezpečnostní hrozby terorismus a extremismus*: skripta. Ostrava: VŠB-TU, 2008. ISBN 978-80-248-1732-3
- [6] THOMAS, Andrew R. 2008. *Aviation Security Management*. 1. vydanie. USA: PRAEGER. 804 s. ISBN 13: 978-0-313-34652-1
- [7] *Aviation security international*. 2018. The global journal of airport and airline security. UK: ASI Publications Limited, roč. 24, č. 3.
- [8] DEBYSER, Ariane, PERNICE, Davide. Air transport: Civil aviation security. In: *europarl.europa.eu* [online]. 2020 [cit. 15.1.2021]. Dostupné z <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/132/air-transport-civil-aviation-security>
- [9] HUTCHINS, Aaron. Why do terrorists target airports so frequently? In: *macleans.ca* [online]. 1.6.2017 [cit. 9.3.2021]. Dostupné z: <https://www.macleans.ca/news/world/why-do-terrorists-target-airports-so-frequently/>
- [10] *Letisko Bratislava*. Všeobecné informácie. In. *bts.aero*. [online] 2021 [cit. 15.1.2021]. Dostupné z: <https://www.bts.aero/informacie/bezpecnostne-predpisy/vseobecne-informacie/>
- [11] 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.
- [12] 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 OF IMPLEMENTATION INSTRUMENT APPROACHES FOR HEMS HELIPORTS

ANALÝZA MOŽNOSTÍ PRÍSTROJOVÉHO PIRLBÍŽENIA NA HELIPORTY VZSS

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

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

Abstract

In recent years, the trend of using a helicopters in the operation of the helicopter emergency medical service (HEMS) has been increasing. The reason is the wide range of uses of the helicopter, fast and safe transport of wounded people using new copters. Nevertheless, it is not possible to operate flights in poor weather conditions with a sufficient number of interventions. There is a need to develop new procedures for flying even under conditions other than VFR flight rules. The current state of helicopter technology in Slovakia allows it and therefore it is appropriate that new procedures using GNSS be created to establish a safe flight. The aim of the analysis is to evaluate the input factors available to the operator and to create a design approach based on the legislative requirements for the use of GNSS systems on the selected heliport. The resulting approach design can be used as one of the options for creating procedures. Such proposals could also be implemented on other operational bases, for the creation of a network of instrument approach or departure systems, which would create space for increasing the safety of helicopter emergency medical service in Slovakia.

Keywords

HEMS, Safety, PinS, Integrity, GNSS, helicopter

1. Analýza súčasného stavu

Na území Slovenskej republiky prevádzkuje na siedmich operačných základniach HEMS [1] súkromná spoločnosť ATE. Spoločnosť vykonáva všetky lety a priblíženia výlučne za podmienok VFR cez deň a v noci [2] [1] s prijatím výnimiek pre lety VFR noc a podávaním letových plánov. Počas nočných zásahov sa tiež využíva nočné videnie NVG pre zvýšenie bezpečnosti letov v noci. Priblíženie IFR sa v súčasnom stave neuplatňuje. [2] Rozmiestnenie základní zabezpečuje pokrytie miest, obcí, ale hlavne aj nedostupných oblastí tak, aby vrtuľníková posádka, čo v najkratšom čase dosiahla a zabezpečila transport pacienta. Rozmiestnenie základní je uvedené v tabuľke č. 1.

Tabuľka 1: Rozdelenie základní. Zdroj: <https://www.ate.sk/sk/vzss/strediska/>

Volací znak	základňa	Typ vrtuľníka
Krištof 01	Bratislava (LZIB)	A109K2
Krištof 02	Banská Bystrica	Bell 429
Krištof 03	Poprad (LZTT)	A109K2
Krištof 04	Košice	Bell 429
Krištof 05	Nitra (LZNI)	A109K2
Krištof 06	Žilina	Bell 429
Krištof 07	Trenčín (LZTN)	A109K2

1.1. Využívaná letecká technika

Na prevádzku VZSS sa na území Slovenskej republiky využívajú dva typy vrtuľníkov, A109K2 (Obr. 1) a Bell 429 (Obr. 2). Na základňách Poprad, Banská Bystrica a Žilina sú vrtuľníky vybavené záchranným navijakom. Ostatné vrtuľníky v prípade potreby vedú využiť podves a záves na vrtuľníkoch A109K2 alebo Bell 429. Jedná sa o rozdielne vrtuľníky a je možné konštatovať, že vrtuľník Bell 429 je dlhší a rovnako aj vyšší v porovnaní s A109K2. Priemer nosného rotora je takmer úplne totožný, čo znamená, že rozmery pre plochu do terénu sú totožné. Pri zväčšení objemu trupu dĺžky kabíny a rovnako aj výšky.



Obrázok 1: Vrtuľník Agusta A109K2 využívaný pre VZSS na Slovensku. Zdroj: <https://www.ate.sk/sk/vzss/flotila/>



Obrázok 2: Vrtuľník Bell 429 využívaný pre VZSS na Slovensku [Zdroj: <https://www.ate.sk/sk/vzss/fotogaleria/>]

Váhy jednotlivých vrtuľníkov sú takmer totožné a Bell429 má väčšiu maximálnu vzletovú hmotnosť (MTOW), čo znamená, že môže zobrať viac paliva pre dlhší dolet prípadne viacej osôb na palubu vrtuľníka oproti A109K2.

Pohonná jednotka je u vrtuľníkov tiež rozdielna. Bell429 má dva výkonnejšie motory o 300 kW. Čo znovu zvyšuje celkovú výkonnosť vrtuľníka oproti A109K2.

Cestovná rýchlosť je u Bell429 vyššia o 15 kt, čo má za následok skrátenie času pri letených trasách a môže tak zvyšovať časový benefit transportu pacienta.

Rozdielnosť v typoch A109k2 a Bell429 je zreteľná aj v kabíne pre posádku. Rozdiel je hlavne v avionickom vybavení vrtuľníkov a priestranosti v kabíne pilota, ale aj v zadnej kabíne pre lekára a pacienta, prípadne ďalších členov posádky.

Vrtuľník A109K2 má analógové vybavenie prístrojovej dosky v porovnaní s bellom 429, kde sú analógové prístroje len ako záložne a to umelý horizont, rýchlomer a výškomer.



Obrázok 3: Porovnanie kabíny pilota A109K2 a Bell429. Zdroj: <https://www.airliners.sk/wp-content/uploads/2017/11/Porovnanie-Agusta-Bell.jpg>

1.2. Súčasný postup prevádzky

V súčasnosti je celosvetovo možné využívať pozemné zariadenia a infraštruktúru pre využitie IFR letov za IMC podmienok. Takéto druhy priblížení alebo odletov je možné vykonať len na letiskách, ktoré sú zabezpečené touto pozemnou infraštruktúrou s využitím systémov ILS [13], VOR, NDB, DME. Na území Slovenska sa takéto postupy nevyužívajú a lety pre záchranu ľudského života sa vykonávajú zásadne za Meteorologických podmienok VMC s využitím VFR pravidiel letu.

Ďalším dôvodom prečo sa takéto lety nevykonávali v minulosti ani v súčasnosti je, že pre takýto druh prevádzky je nutné zabezpečenie výcvikových posádok ako aj zaistenie leteckej

techniky. V dnešných dňoch existuje letecká technika, ktorá je certifikovaná pre prevádzku single pilot IFR, ale využíva sa veľmi rozdielne podľa druhu prevádzky a iných špecifických faktorov prevádzkovateľa.

Nebezpečie prináša hlavne námraza, ktorú nie je možné jednoznačne vylúčiť pri podrobnom vyhodnocovaní meteorologickej situácie. Letecká technika, ktorá sa využíva na druh prevádzky VZSS, VIP doprava a letecké práce, nie je dostatočne vybavená proti námrazovými systémami. Odmrazované bývajú často krát len pitotové trubice na snímanie tlakov pre zabezpečenie funkčnosti prístrojov a sklá kabíny. Rotorové listy nie sú samozrejmosťou v oblasti odmravovania. A to prináša nebezpečie vzniku námrazy nie len na vymenovaných častiach vrtuľníka, ale aj na samotnom trupe, čo má za následok zvýšenie celkovej hmotnosti vrtuľníka a zníženie výkonnosti, čo môže viesť k incidentu alebo leteckej nehode.

V súčasnosti sa Švajčiarsky prevádzkovateľ VZSS (REGA) opiera pri využití práve RNAV GNSS s PinS o fakt, že prevádzka bude bezpečná, pretože bude využívať pre tento druh prevádzky typ AW169, ktorý prebehol certifikáciou pre tento druh prevádzky. Tento vrtuľník má odmravované nábehové hrany listov nosného rotora ako aj vyrovnávacieho rotora, sklá kabíny, pitotové trubice a vstupy motorov. [10] Z pohľadu prevádzkovateľa je tak možné zabezpečiť zvýšenú ochranu pred vznikom samotnej námrazy avšak nevylučuje jej vznik.

2. Globálny navigačný satelitný systém

V súčasnej dobe dochádza k snahám zjednocovaniu pravidiel a štandardov medzi FAA a EASA. Dopusiaľ boli v oblasti využívania GNSS regulované len IFR lety lietadiel. Preto sa začiatkom roku 2008 začalo vyvíjať a vydávať nové manuály PBN (DOC 9613) týkajúci sa navigácie založenej na výkonnosti, ktorého implementácia pre členské štáty európskej únie v súčasnosti realizuje spomínaná európska agentúra pre bezpečnosť letectva.

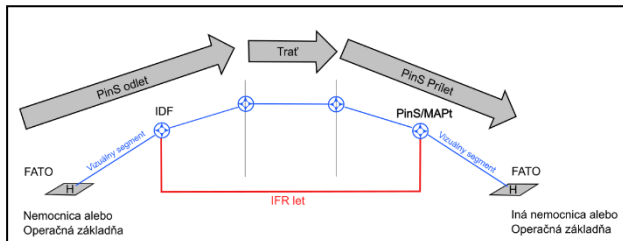
Implementácia nových postupov navigácie umožní flexibilnejšie využívanie vzdušného priestoru, vrátane publikovania postupov na letiská alebo heliporty, ktoré doteraz nedisponovali minimálne potrebným pozemným vybavením pre prístrojové priblíženia na pristátia a odlety. Na území Slovenskej republiky sa využíva v rámci GNSS napr. GPS alebo EGNOS, ktorý je na frekvencii 1 575,42 MHz, kde je operátorom ESSP –European Satellite Services Provider – SAS [4].

2.1. EGNOS

Rozšírením už existujúcich signálov GPS ponúka zvýšenú vertikálnu presnosť určovania polohy do troch metrov systém EGNOS, ktorý pokrýva oblasť Európy a severnej Afriky. Je možné považovať tento systém za Európsku podobu spresňujúceho systému SBAS, ktorý umožňuje využitie LPV priblíženia [11] [12]..

Integrita umožňuje pilotom spoľahnúť sa pri prístrojovom priblížení a odlete na miestach, kde to meteorologické podmienky vyžadujú pre bezpečne vykonanie letu, ktoré nebolo predtým možné bez pozemnej infraštruktúry antén a zameriavačov. Infraštruktúra pozostáva z troch geostacionárnych satelitov po celej Európe [3]. Je možné priblíženie s využitím tohto systému porovnať s ILS CAT I.

Činnosť systému je zaistená pozemnými monitorovacími stanicami, ktoré prijímajú signály z kozmického segmentu tzv. družice systému GPS, GLONASS a geostacionárnych družíc. Z týchto zdrojov sú stanice vďaka svojej polohe, ktorá je známa schopné určiť integritu systému a ionosférickú chybu akonáhle majú pozemné stanice všetky dáta, ktoré sú potrebné vysielajú sa späť kozmickému segmentu. Konečnému užívateľovi sa následne zobrazujú dáta o polohe, ktoré sú už opravné o korekcie získané z pozemných staníc [9].



Obrázok 4: Schéma využitia častí GNSS vedenia na PinS. Zdroj: Autori.

2.2. Príbliženie – pokračujte vizuálne

Ide o postup, kedy sa vrtuľník dovedie do bodu nepodareného priblíženia, ktorý sa označuje (MAPt – Missed approach point). Od tohto bodu sa pokračuje vizuálne za viditeľnosti plochy heliportu. Pokiaľ však podmienky nedovoľujú pokračovať za viditeľnosti zeme a prekážok pilot musí vykonať postup nepodareného priblíženia, Bod klesania (DP Descent Point) predstavuje bod konca časti vizuálneho úseku, ktorá je letená v minimálnej nadmorskej výške pre klesanie (MDA Minimum Descent Altitude). [5] Taktiež je určený tento bod pre zahajenie konečného klesania pre pristátie. Rozmiestnenie týchto bodov podlieha meraniu prekážok, umiestnenia heliportu a ďalších faktorov, ktoré sú uvedené v dokumente L14 II. Zväzok Heliporty [6].

2.3. Príbliženie – pokračujte podľa VFR

Tento druh priblíženia sa využíva pri heliportoch a plochách, ktoré nespĺňajú požiadavky a štandardy pre heliporty uvedené v L14 II. Zväzku heliporty. Postup je však podobný a znova je miestom rozhodnutia bod MAPt. Pred týmto bodom alebo tomto bode sa musí pilot rozhodnúť či je zaistená minimálna dohľadnosť, ktorá je požadovaná pre daný zostup a prechod z letu IFR na let VFR. [5] Opäť podľa meteorologických podmienok pilot vyhodnotí či pokúje podľa podmienok letu VFR alebo postupuje podľa určeného postupu pre nevydarené priblíženie a priblíženie opakuje alebo odlieta na inú plochu. Pre ďalšie pokračovanie podľa pravidiel letu VFR je daný pre zostup na heliport diagram výšky, ktorý slúži pre kontrolu dodržania výšky v daných bodoch [5].

3. Návrh priblíženia s využitím pins

Pre návrh priblíženia sú dve možnosti. Vzhľadom na vopred vytýčené priletové a odletové smery (262°/030°) je možné využiť ochranné pásma, priletové roviny a plochy, ktoré boli vypracované pre posudok schvaľovania heliportu. Tým sa značne zjednoduší výber smerov, keďže sú najviac využívané. Na základe toho je možné vypracovať možný návrh pre priblíženia z dvoch najčastejšie využívaných smerov a to:

juhozápad v prípade priletov z Bratislavy, Považskej Bystrice, Trenčína a iné možné priletý,

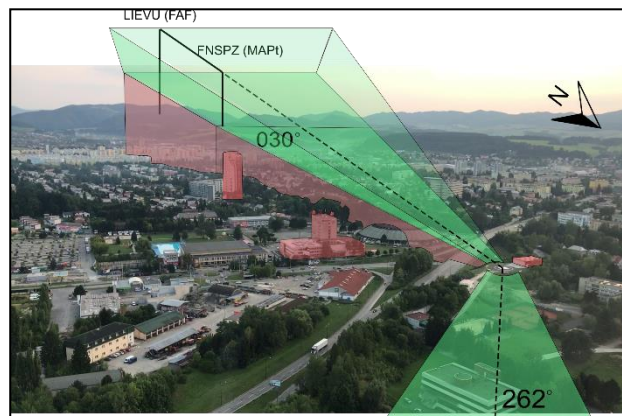
východ v prípade priletov z Martina, Banskej Bystrice, Prievidze, Košíc, Popradu, Oravy a iné možné priletý.

3.1. vyhodnotenie prekážok

V smere hlavného priblíženia 262° nezasahujú žiadne významné prekážky, ktoré by ovplyvňovali bezpečnosť konečného priblíženia.

V smere vedľajšieho priblíženia 030° nezasahujú žiadne významné prekážky, ktoré by ovplyvňovali bezpečnosť konečného priblíženie. Rovnako na prechodové plochy nezasahujú žiadne prekážky [7].

Na obrázku 5 sú vyznačené časti priblíženia, významní prekážky a zelenou farbou vyznačená konečná vizuálna fáza priblíženia proseed visually na heliport v dvoch hlavných smeroch.



Obrázok 18: Vyznačenie prekážok a smer priletov na heliport zo smeru juh. Zdroj: Autori.

Zvolenie hlavného a vedľajšieho smeru bolo stanovené s ohľadom na situačnú polohu heliportu a vyhodnotenie prekážok v jeho okruhu. Za význačné kritické body sa považujú prekážky, ktoré sú vyznačené nižšie v tabuľke 2.

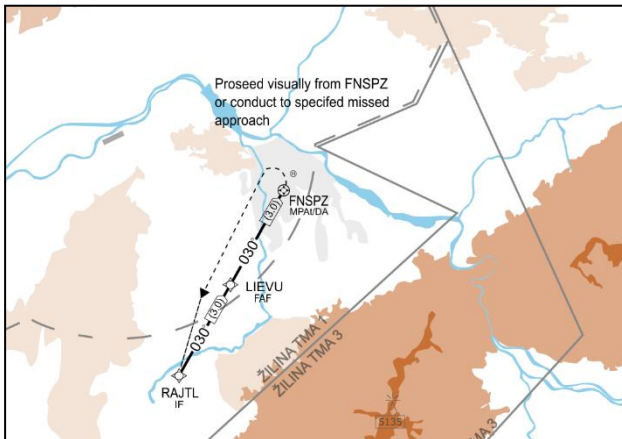
Tabuľka 2: Význačné kritické body v blízkosti heliportu VZZS FNŠP Žilina [Zdroj: Prof. Ing. Antonín Kazda, CSc, Ochranné pásma heliportu pre leteckú záchranú službu Fakultná nemocnica s poliklinikou Žilina, 2010]

Významný bod	Výška
Hangár	369,95 m n.m
Roh strechy, budova domu techniky	389,87 m n.m
Roh strechy, budova domu techniky	389,84 m n.m
Anténny systém na Dome techniky	402,81 m n.m
Anténny systém na Dome techniky	396,77 m n.m
Komín teplárne	533,00 m n. m
Výšková budova „amfiteáter“	432,80 m n. m

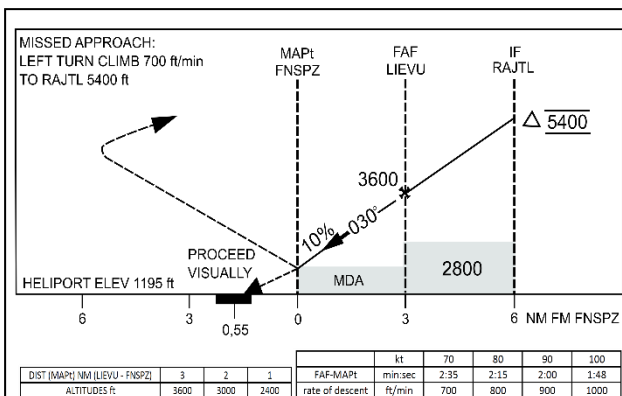
3.2. Variant priletu a) z juhozápadu

Výška naletenia počiatočného bodu priblíženia je 5 400 ft. na bod RAJTL, kde sa začne klesanie s hodnotou 10 % (600 ft/NM). V bode LIEVU (FAF) sa rýchlosť IAS upravuje na 70 KIAS a pokračuje klesanie s hodnotou 600 ft/NM do bodu FNSPZ (MAPt), kde je stanovená výška prechodu do vizuálu na 1 800 ft QNH. Pokiaľ v tejto výške pilot nemá vizuálny kontakt so zemou a plochou FATO začne postup nevydareného priblíženia so stúpaním 700 ft/m ľavou zákrutou na prilet k počiatočnému bodu na opakovanie priblíženia. Pokiaľ dosiahol vizuálny kontakt pokračuje v štandardnom priblížení na plochu FATO.

V prípade variantu a) bol zvolený prilet z juhozápadu. Štatisticky je známe, že na Heliport FNSP v Žiline sa využívajú najmä prílety zo smeru juho - západ v prípade návratov z Bratislavy, Považskej Bystrice. Toto nepresné priblíženie sa dá využiť v prípade VMC/IMC podmienok za dňa aj noci. V prípade VMC podmienok je možné využiť priblíženie na eliminovanie pracovnej záťaže pilota po zásahu, čím sa značne zvyšuje efektívnosť a bezpečnosť letu. Rovnako ako aj v podmienkach IMC, ktoré však musia spĺňať špecifické kritéria pre využitie tohto priblíženia



Obrázok 6: Grafický návrh priblíženia varianty a) pomocou PinS smer juho – západ. Zdroj: Autori.



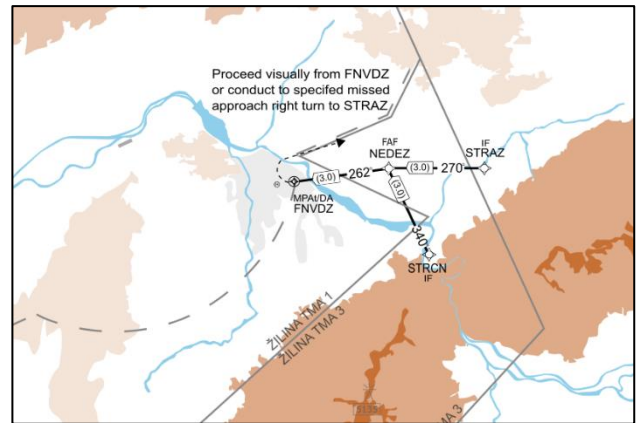
Obrázok 7: Výškový profil priblíženia, variant a) pomocou PinS. Zdroj: Autori.

3.3. Variant priletu b) z juhu

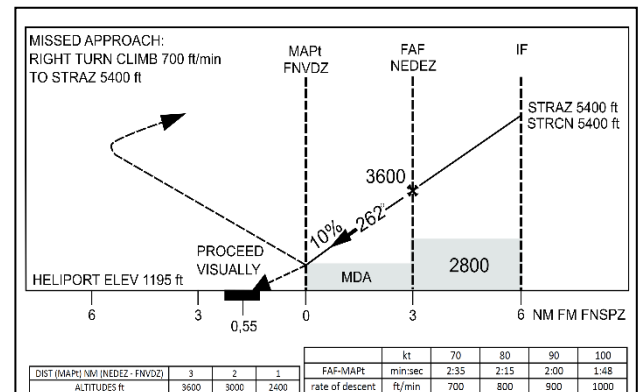
V prípade variantu b) bol zvolený prilet zo smeru priesmyk – Strečno a Terchová s využitím Pins RNP-AR, čo znamená využitie segmentov zo zmenou smeru letu resp. zákruty z dôvodu rozsiahleho terénu v okolí priblíženia. V prípadoch návratov z Martina, Prievidze, Banskej Bystrice a pod. Počiatočná vstupná

výška je o 5 400 ft. Tento variant sa začína v bode STRECN alebo STRAZ.

Prilet východ: výška naletenia bodu STRAZ alebo STRCN (IF) priblíženia je 5 400 ft. S klesaním 10 % 600 ft/NM. Následne pokračuje priblíženie na bod NEDEZ (FAF), kde pokračuje klesanie s hodnotou 10 % (600 ft/NM). V bode NEDEZ (FAF) sa rýchlosť IAS upravuje na 70 KIAS a pokračuje klesanie s hodnotou 600 ft/NM do bodu FNVDZ (MAPt), kde je stanovená výška prechodu na vizuálny kontakt vo výške 1 800 ft QNH. Pokiaľ v tejto výške pilot nemá vizuálny kontakt so zemou a plochou FATO začne postup nevydareného priblíženia so stúpaním 700 ft/min pravou zákrutou na prilet k bodu STRAZ na opakovanie priblíženia. Pokiaľ dosiahol vizuálny kontakt pokračuje v štandardnom priblížení na plochu FATO.



Obrázok 8: Grafický návrh priblíženia varianty b) pomocou PinS smer juh. Zdroj: Autori.



Obrázok 9: Výškový profil priblíženia, variant b) pomocou PinS. Zdroj: Autori.

4. Technicko-ekonomické zhodnotenie

Pre návrh GNSS priblíženia typu PinS nie je potrebná pozemná infraštruktúra ako pri doterajších typoch ILS, NDB, VOR a DME. Dá sa teda povedať, že toto priblíženie sa dá navrhnuť na ktorúkoľvek plochu aj v prípade necertifikovaného heliportu. V takom prípade však ide o zložitejší návrh z pohľadu vytýčenia priletových a odletových smerov bez ochranných pasiem a bezpečnostných plôch. Nie je však nereálne a to je hlavná výhoda GNSS typu navigácie s pomocou EGNOS a PinS.

Pri implementácii tohto typu priletov a odletov by bolo možné vytýčiť takéto priblíženia a odlety takmer na každej ploche, ktorú

VZZS využíva. Slovensko má rôznorodý terén a rovnako aj umiestnenia heliportov sú veľmi rozdielne. Vyžadovali by si pri tvorbe návrhov na priblíženia alebo odlety osobitné návrhy, ktoré by podliehali vysokým nárokom na vytvorenie bezpečného návrhu. Najvýhodnejšie umiestnenia týchto GNSS postupov je pre schválené heliporty v CTR s pokrytím radaru a obojstrannej komunikácie pilot – ATC. Výhodou je schválený heliport, ktorý má jednotlivé bezpečnostné plochy vytýčené a nie je tak problém s prekážkovými rovinami. Rovnako by sa tieto postupy mohli implementovať do oblastí všetkých základní VZZS pre bezpečný odlet alebo návrat na domovskú základňu.

Najvýhodnejšie z pohľadu umiestnenia heliportov sú základne: Krištof 01 Bratislava, Krištof 03 Poprad. Tieto dve základne sa nachádzajú priamo na medzinárodných letiskách v priestore CTR, kde sa dá využiť aj priblíženie ILS. To, ale neznamená, že nie je výhodné navrhnuť priblíženie GNSS s využitím PinS s využitím nižších minimálnych výšok aj na týchto letiskách.

Ako ďalšie základne sú so schváleným heliportom Krištof 02 Banská Bystrica, Krištof 04 Košice, Krištof 06 Žilina (bez radarového kontaktu), ktoré sa rovnako nachádzajú v priestore CTR, ale mimo letiska. Práve tieto základne by boli vhodné pre zstrojenie priblíženia a odletov PinS. Ostávajú dve základne Krištof 05 Nitra a Krištof 07 Trenčín, kde heliporty nie sú schválené a síce nachádzajú sa na letiskách, ale v priestore ATZ, kde nie je poskytovaná služba ATS ani možnosť radarového kontaktu. To avšak neprekáža vytvoreniu návrhu. Avšak vytvorenie návrhu môže trvať dlhší časový horizont pre neúplnosť údajov pre takéto zstrojenie návrhu ako sú bezpečnostné plochy, prekážkové roviny a pod. Zároveň nie je možnosť zvýšenej kontroly zo strany riadenia ATC. Mohli by však tieto priblíženia a odlety byť navrhnuté pre smer dráhy letísk s následným prechodom „proceed visually“ s pokračovaním za vizuálu na plochu pred základňou.

Pre zabezpečenie bezpečnej prevádzky VZZS by bolo nutné vytvoriť nové alebo sprístupniť viac meteorologických staníc, ktoré by v reálnom čase vyhodnocovali meteorologické podmienky, o ktoré by sa pri rozhodovacom procese pilot mohol oprieť, a tak sa bezpečne rozhodnúť či je let s využitím PinS možný a nie je v oblasti letu hrozba vzniku námrazy pri prelietavaní vrstvy oblačnosti.

Jeden z hlavných faktorov je umiestnenie dosadacej plochy resp. heliportu a jeho status, či sa jedná schválený heliport alebo ide o plochu verejného záujmu, ktorých je na Slovensku momentálne viacej ako samostatných schválených heliportov. Hlavnou víziou tohto projektu implementácie prístrojových priblížení prípadne aj odletov je zvýšenie bezpečnosti leteckej prevádzky pre prevádzkovateľov VZZS, ale aj iné subjekty ako sú vzdušné sily, letecký útvar ministerstva vnútra alebo civilný sektor VIP dopravy a pod.

Analýzou dvoch prípadov návrhu je možné vyhodnotiť, že je možné implementovať takýto druh priblíženia na schválené heliporty, ktorý nie je nutné využívať len za sťažených meteorologických podmienok, ale rovnako aj za podmienok VMC počas dňa alebo noci.

Z pohľadu využívanej techniky je Bell 429 vhodný typ pre tento navrhovaný druh prevádzky. Hlavnou nevýhodou však ostáva fakt, že nie je možné využiť akýkoľvek druh odmrazovania. V podmienkach námrazy pri priblíženiach cez vrstvu oblačnosti v prípade nízkych teplôt a vysokej vlhkosti by mohlo dôjsť k

tomuto nepriaznivému stavu. Nie je možné identifikovať s určitou presnosťou v akých podmienkach nedôjde k vzniku námrazy na listoch nosného (vyrovnávacieho) rotora, predných skiel kabíny alebo celom trupe, čo by malo za následok značné zhoršenie výkonov vrtuľníka alebo dokonca by to mohlo viesť až k mimoriadnej udalosti či incidentu. Pre budúce návrhy takéto druhu prevádzky by bolo pozitívne zhodnotiť práve typ využívanej techniky.

V súčasných stavoch implementácie GNSS navigácie pre lety FIR sa zavádza úspešne typ AW169 alebo vyššie rady tejto triedy, ktoré už v Taliansku a vo Švajčiarsku začínajú využívať. Uvedené vrtuľníky disponuje odmrazovaním listov nosného rotora, pitotových trubic a predných skiel kabín, čo môže zaručiť bezpečnú prevádzku aj v podmienkach vzniku námrazy.

Z ekonomického hľadiska nie je jednoduché vyhodnotiť ekonomickú časť návrhu. Samotný návrh podlieha projektovej firme, ktorá takéto návrhy a možný dizajn vykonáva za jednotlivé poplatky od druhu návrhu a následných požiadaviek prevádzkovateľa heliportu. Do tohto zohľadnenia neoddeliteľne patria aj samotné výcviky posádok pre získanie prístrojových kvalifikácií (IR). Tieto kvalifikácie sú jednou z podmienok pre prevádzku IFR v spoločnosti. Je nutné zohľadniť pre aký počet pilotov by sa týkal tento výcvik. Tu sa, ale dostáva situácia do komplikácií, kde nie je každý pilot použiteľný pre tento druh prevádzky. Dôvodom je aj „viac-typovosť“, keďže tento druh prevádzky by v súčasnom stave mohol prevádzkovať iba jeden typ vrtuľníka nakoľko je certifikovaný pre využívanie GNSS, PinS. Ide o typ Bell 429.

Pre posádky vrtuľníkov, ktoré vykonávajú druh prevádzky IFR je potrebné, aby bolo dodržané nasledovné. Držiteľ IR (H) musí na uplatňovanie svojich oprávnení vo funkcii veliaceho pilota (PIC) podľa pravidiel letu podľa prístrojov (IFR) absolvovať najmenej 55 hodín prístrojového času, z čoho až 40 hodín môže tvoriť pozemný prístrojový čas resp. trénažér. Ostatných 15 hodín je potrebných na vrtuľníku.

Platnosť IR platí 1 rok. Predlžuje sa v období troch mesiacov bezprostredne predchádzajúcich dátumu uplynutia platnosti kvalifikačnej kategórie. Predĺženie platnosti IR ak je spojené s predĺžením platnosti typovej kvalifikačnej kategórie, absolvujú preskúšanie odbornej spôsobilosti pre príslušný typ vrtuľníka; [8] Z týchto podmienok je značné, že najväčší podiel na ekonomickom zhodnotení má práve výcvik posádok pre získanie kvalifikácií a následne ich udržiavaniu predlžovaniu.

5. Záver

Článok s názvom analýza možností prístrojového priblíženia na heliporty VZZS bol zameraný na zhodnotenie súčasného stavu štandardných postupov a možnej implementácie nových postupov s využitím GNSS pre zvýšenie bezpečnosti leteckej prevádzky v oblasti leteckej záchranej zdravotnej služby.

Úvodom bol analyzovaný súčasný stav na území Slovenskej republiky. Štandardné postupy, akými sa za súčasného stavu vykonávajú lety pre záchranu ľudského života, kde boli analyzované aj podmienky letov VFR a IFR.

V nadväznosti na celosvetovom trende zvyšovania bezpečnosti letov v oblasti civilného letectva boli navrhnuté možnosti prístrojového priblíženia pre zvyšovanie bezpečnosti a možných vykonaných zásahov aj za nepriaznivých meteorologických

podmienok, za ktorých v súčasnom stave, nie je možné lety bezpečne vykonať. Teda sú odmietnuté z dôvodu znížených miním pre lety VFR deň/noc a s tým sú spojené aj nebezpečné javy za letu.

Na základe zistení novo vyvíjaných postupov pre kategóriu vrtuľníkov v oblasti využívania GNSS boli zhrnuté poznatky a požiadavky pre zabezpečenie návrhu takéhoto druhu prevádzky. Celosvetový trend je zvyšovať bezpečnosť v oblasti letectva a takýto je aj dôvod zvyšovať povedomie a výhodách GNSS navigácie a jej integrity.

Vo výskume bol zvolený jeden druh priblíženia „proceed visually“ s využitím PinS, pre heliport Fakultnej nemocnice s poliklinikou v Žiline s dvoma smermi priblíženia, ktoré boli vytýčené v priebehu schvaľovania heliportu v roku 2010. Definovaním týchto smerov priblíženia bol stanovený možný návrh smeru a vypracovania priebehu priblíženia na základe okolitého terénu a jeho prekážok v smere priblíženia.

Na základe tohto experimentálneho návrhu by mohol byť vypracovaný dizajn takéhoto priblíženia pre praktické využitie, ktoré by následne muselo byť odskúšané a validované pre presné dosiahnutie bezpečného priblíženia na bod MAPt.

Poukázaním na výsledky analýzy je možné potvrdiť voľnosť návrhu. Je možné implementovať takéto priblíženia aj na ďalšie heliporty a plochy verejného záujmu, pokiaľ to umiestnenie heliportu umožňuje. Článok zároveň analyzuje zvyšovanie bezpečnosti prevádzky, efektivity využitím GNSS pre priblíženia.

Referencie

- [1] EASA.EUROPA.EU. Prílohy k návrhu nariadenia komisie „Letecká prevádzka – OPS“ [online]. Dostupné na internete: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/EASA_2011_00060002_SK_TRA.pdf (citované 2020-12-10)
- [2] AIR-TRANSPORT EUROPE. Prevádzková príručka. Časť B – Záležitosti prevádzky vrtuľníka týkajúce sa typu BELL429. 2015 [PDF]. 2020-12-20
- [3] European Global navigation satellite systems. EGNOS in Aviation: Vertical precision for improved Approaches [online]. Dostupné na internete: <https://www.gsa.europa.eu/egnos-aviation-vertical-precision-improved-approaches-0> (citované 2020-10-17)
- [4] HALIAKOVÁ, P.- ŽIŽKA, J.- DÚHA, Š. 2017 *GNSS pre pilotov všeobecného letectva, teória a využitie v praxi*. Žilina: EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2017. 59 s. ISBN 978-80-554-1307-5.
- [5] KOMÍNEK, T. 2019. *Využitelnost přiblížení pins pro lety HEMS*: diplomová práce, Praha : ČVUT, 2019. 87 s.
- [6] VAŠUTOVÁ, N. 2019. *Návrh sjedenocení požadavku na heliporty v EU*. Bakalářská práce, Praha: ČVUT, 2019. 73 s.
- [7] Prof. Ing. Antonín KAZDA, CSc, 2010, *Letecko – prevádzkové a stavebno – technické posúdenie heliportu pre leteckú záchrannú službu*, Fakultná nemocnica s poliklinikou Žilina, Žilina
- [8] NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 1178/2011, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:311:0001:0193:SK:PDF>
- [9] Burjánková, P. 2016. *Postup přiblížení LZS s využitím EGNOS*: diplomová práce, Praha : ČVUT, 2016. 72 s.
- [10] The world of helicopter ice protection systems, Flight in icing conditions is a significant safety threat affecting ems and sar helicopter operators. mario pierobon reports, airmed&rescue [ONLINE]. DOSTUPNÉ NA INTERNETE: <https://www.airmedandrescue.com/latest/long-read/world-helicopter-ice-protection-systems> (citované 2020-20-12)
- [11] Novák, A., 2015. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*, Bratislava, DOLIS, 2015, ISBN 978-80-8181-014-5
- [12] 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
- [13] Novák, A., Pitor, J. 2011. *Flight inspection of instrument landing system*. 2011 IEEE Forum on Integrated and Sustainable Transportation Systems, 329-332.

PROTECTION AGAINST ACTS OF UNLAWFUL INTERFERENCE IN CIVIL AVIATION IN THE CONDITIONS OF THE SLOVAK REPUBLIC AND THE CZECH REPUBLIC

OCHRANA PRED ČINMI PROTIPRÁVNEHO ZASAHOVANIA DO CIVILNÉHO LETECTVA V PODMIENKACH SR A ČR

Deana Mikulová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
mikulova16@stud.uniza.sk

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

Abstract

This paper which deals with the issue of "Protection against acts of unlawful interference in civil aviation in the conditions of the Slovak Republic and the Czech Republic" and is divided into four main parts. The first part is focused on the basic definitions and concepts of security, which is based on the aviation regulation L17 (ANNEX 17). The second part deals with the typology of threats that pose a danger to air transport together with an indication of specific events related to illegal acts and also points out the measures taken to prevent the recurrence of such acts. Subsequently, the historical development of international legislation in this area is characterized in more detail chronologically from the oldest legal norms to the latest legislation at present. A fundamental element of this paper is a comparison of legislation of the Slovak Republic and Czech Republic. The last part presents possible visions for the future, which consist of modern and intelligent technologies that could be applied in the fight against acts of unlawful interference in the coming years.

Keywords

unlawful act, Annex 17, ICAO, security, terrorism, civil aviation, international agreements

1. Úvod

Vzhľadom na to, že letecká doprava je jedným z najvyužívanejších sektorov, zasiahnutie medzinárodnou pandemickou situáciou bolo veľmi citeľné. Od začiatku roka 2020 krajiny po celom svete uzavreli svoje hranice, výrazné zníženie počtu cestujúcich znamenalo zrušenie takmer všetkých zahraničných letov a obmedzilo sa aj domáce cestovanie práve v dôsledku COVID-19.

Na začiatku rozvoja letectva nebolo toto odvetvie tak výrazne ovplyvňované rôznymi druhmi hrozieb ako v dnešnej dobe. Ľudia využívajúci letecký priemysel mali oveľa väčší pocit bezpečnosti, mohli nastúpiť na palubu lietadla bez pocitu ohrozenia, a preto sa bezpečnostná ochrana javila ako menší problém nevyžadujúci si príliš veľkú pozornosť. Avšak, s rýchlym rozvojom civilného letectva začali vzrastať aj teroristické útoky po celom svete. Práve z tohto dôvodu bolo potrebné zaradiť koncepciu leteckej bezpečnosti na popredné miesta zoznamu priorit, najmä po útokoch z 11. septembra 2001, kedy sa stala hrozba terorizmu a spáchania protiprávných činov témou, ktorej sa venovalo najviac pozornosti a bolo nutné, aby bola dôkladne upravená.

Cieľom tohto článku je systematizovať a charakterizovať právnu úpravu medzinárodného civilného letectva a zachytiť vybrané aspekty, ktoré túto oblasť charakterizujú a zároveň analyzovať, ako sa po právnej stránke letecká doprava postupne vyrovnávala

s potenciálnymi rizikami a hrozbami, ktorým musela čeliť, ako aj komparácii implementácie medzinárodných štandardov do právnych systémov Slovenskej a Českej republiky a jej vyhodnotenie. V neposlednom rade budúcim vývojom v tejto oblasti, ktorý je zameraný na aplikovanie inováčných technológií a metód v rámci bezpečnostnej ochrany civilného letectva.

Štruktúra článku pozostáva zo štyroch hlavných častí. V prvej časti sa zameriavam na rozdelenie jednotlivých hrozieb, ktoré predstavujú pre leteckú dopravu nebezpečenstvo, následne prezentujem postupný historický vývoj legislatívy na medzinárodnej úrovni od prvých dohovorov až po súčasnú úpravu. Tretia časť je venovaná podrobnejšej analýze legislatívy v rámci Slovenskej a Českej republiky s aplikáciou medzinárodných štandardov a taktiež aj ich vzájomnej komparácii. V poslednej časti sa zaoberám rozvojom technológií založených na moderných inteligentných systémoch a v neposlednom rade víziou „Smart Security“ pre bezpečnosť do roku 2040.

2. Typy hrozieb v oblasti bezpečnosti

V priebehu histórie bezpečnostnej ochrany letectva mnohé krízové situácie podnietili príslušné orgány k transformácii v organizovaní, vykonávaní a vyhodnocovaní z hľadiska bezpečnostnej ochrany [1]. V súčasnosti by sme mohli typológie hrozieb proti civilnému letectvu rozdeliť do viacerých druhov. Do budúcnosti však môžeme predpokladať, že postupne bude

trend novodobých hrozieb narastať spoločne s novými druhmi útokov, ktoré budú ohrozovať bezpečnosť leteckej dopravy po celom svete. Medzi takéto hrozby môžeme zaradiť:

- Bombu na palube lietadla,
- Únos lietadla,
- Útoky v oblasti terminálu letiska,
- Lietadlo použité ako zbraň,
- Útoky zo zeme,
- Útoky na mimoletiskové kancelárie leteckých spoločností,
- Sabotáže,
- Kyberterorizmus,
- Bezpilotné prostriedky [2].

3. Medzinárodná legislatíva od chicagského dohovoru k montrealskému protokolu

Počiatky potreby právnej úpravy siahajú už do dvadsiatych rokov minulého storočia, kedy boli vydané právne normy namierené proti osobám, ktoré vedome ohrozujú životy ľudí a ničia alebo poškodzujú lietadlo, avšak neboli vymedzené skutkové podstaty z hľadiska trestných činov, a preto súdy nemohli rozhodnúť o tomto konaní ako o trestnom. Z dôvodu stúpajúcej tendencie protiprávných činov v oblasti letectva bol nevyhnutný vznik medzinárodných dohovorov, ktorých úlohou bolo zabezpečiť ochranu civilného letectva pred takýmito činmi [3].

Medzi najvýznamnejšie míľniky vo vývoji medzinárodnej legislatívy, ktoré sa zaoberajú ochranou pred činmi protiprávneho zasahovania sú:

- Chicagský dohovor (1944) - o medzinárodnom civilnom letectve, zameraný na ustanovenia, ktoré upravujú vzájomné vzťahy medzi jednotlivými krajinami na medzinárodnej úrovni,
- Tokijský dohovor (1963) - je zameraný na trestné alebo iné činy spáchané na palube lietadla,
- Haagsky dohovor (1970) - podrobnejšie sa zaujímal o činy, ktoré súviseli s protiprávnym zmocnením sa lietadiel,
- Montrealský dohovor (1971) - vymedzil pojem protiprávny čin, bezpečnosť letu sa vzťahuje aj na lietadlo v prevádzke a na zariadenia, ktoré slúžia k riadeniu leteckej dopravy ako aj letisko,
- Pekinský dohovor (2010) - od svojich predchodcov sa odlišoval tým, že bol založený na reakcii na novovznikajúce riziká v bezpečnosti a zároveň obsahoval niekoľko výrazných zmien týkajúcich sa trestných činov páchaných v civilnom letectve,
- Montrealský protokol (2014) - jeho úlohou bolo zmeniť a doplniť Tokijský dohovor a poskytnúť komplexnú odpoveď na problémy spôsobené rastúcim počtom nedisciplinovaných cestujúcich [3] [4] [5] [6].

3.1. Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO)

V septembri 2016 nastali výraznejšie zmeny, kedy sa delegáti 39. zasadnutia zhromaždenia ICAO dohodli, že rozvoj Globálneho plánu bezpečnostnej ochrany letectva, tzv. GAsEP, by mal byť urýchlý ako nástroj budúcej politiky a programu v súvislosti s bezpečnostnou ochranou v civilnom letectve. Nahradil dovtedy platnú Komplexnú stratégiu bezpečnostnej ochrany letectva ICAO a je zameraný hlavne na potreby štátov, ktoré sa usilujú efektívne bojovať o zvýšenie bezpečnostnej ochrany letectva prostredníctvom súboru medzinárodne dohodnutých prioritných akcií, cieľov a úloh. Poskytuje taktiež akúsi základňu pre zainteresované štáty či priemyselné odvetvie a ich hlavným cieľom je vzájomná spolupráca na medzinárodnom zvýšení bezpečnosti s víziou dosiahnutia piatich kľúčových najdôležitejších výsledkov, ktorými by mali byť:

1. Zvyšovanie povedomia v spojitosti s možnými rizikami a následná reakcia.
2. Rozvíjanie bezpečnostnej kultúry a schopností ľudí.
3. Rozvoj technologických zdrojov a podpora inovácií.
4. Zlepšenie úrovne dohľadu a zabezpečenie požadovanej kvality.
5. Podpora a spolupráca zainteresovaných štátov a subjektov [7].

Tento plán môže byť považovaný za akýsi „živý“ dokument a pravidelne sa musí prehodnocovať a upravovať podľa potreby, aby boli zohľadnené novovznikajúce bezpečnostné riziká v oblasti civilného letectva [8].

3.2. Opatrenia vydané európskou úniou

Európska únia bola takisto nútená reagovať na útoky z 11. septembra, a to prijatím právnych predpisov o bezpečnostnej ochrane letectva z roku 2002, známych taktiež pod pojmom *Nariadenie č. 2320/2002/ES*, ktoré stanovili zavedenie kolektívnych pravidiel v oblasti bezpečnostnej ochrany [9].

V boji proti teroristickým činom bolo Európskou úniou prijatých *Sedem strategických cieľov* ako súčasť akčného plánu:

1. Snaha o zlepšenie boja proti terorizmu na medzinárodnej úrovni a prehĺbenie medzinárodných dohôd.
2. Zabránenie prístupu ku kapitálovým a ďalším hospodárskym prameňom, ktoré by mohli teroristi použiť vo svoj prospech.
3. Maximalizácia potenciálu v súvislosti s orgánmi Európskej únie a jej členských štátov na spozorovanie, vyšetrovanie, stíhanie a zabezpečenie prevencie proti teroristickým útokom.
4. Ochrana bezpečnosti internacionálnej dopravy a zavedenie spoľahlivých systémov na hraniciach, to znamená identifikácia teroristov, odhalenie ich vybavenia, peňažných či materiálnych prostriedkov a ich detekcia v priestoroch prístavov, letísk alebo v pohraničných oblastiach.
5. Zlepšenie spôsobilosti o vyrovnanie sa s konzekvenciami teroristických činov.

6. Zamedzenie činiteľov, ktoré prispievajú k posilneniu nezákonných činov.
7. Zamerať pôsobenie Európskej únie na tretie krajiny, čo sa týka vonkajších vzťahov, s cieľom nasadenia protiteroristických skupín v boji proti teroristickým aktivitám [3].

V dnešnej dobe je v EÚ regulácia, okrem iného, uskutočňovaná pomocou právne záväzných komunitárnych noriem, medzi ktoré patria:

- Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady Európskeho spoločenstva (ďalej iba „ES“) č. 300/2008 o ustanovení spoločných pravidiel v oblasti bezpečnostnej ochrany a vykonávacie nariadenia,
- Nariadenie Komisie (EÚ) č. 185/2010 o ustanovení podrobných opatrení na vykonávanie spoločných noriem ochrany bezpečnosti civilného letectva v znení neskorších nariadení,
- Rozhodnutie Komisie (EÚ) č. 774/2010 o ustanovení podrobných opatrení na vykonávanie spoločných noriem bezpečnostnej ochrany, ktoré obsahujú informácie uvedené v článku 18 nariadenia (ES) č. 300/2008, ktoré je považované za utajované rozhodnutie s aplikáciou noriem neprístupných verejnosti [10].

Medzi novšie vydané nariadenia patrí:

- *Nariadenie Komisie (EÚ) 1998/2015*, ktorým sa ustanovujú podrobné opatrenia na vykonávanie spoločných základných noriem bezpečnostnej ochrany civilného letectva
- *Nariadením Komisie (EÚ) 2020/910* z 30. júna 2020, sa menia *Vykonávacie nariadenia (EÚ) 2015/1998, (EÚ) 2019/103 a (EÚ) 2019/1583*, pokiaľ sa jedná o nové označenie leteckých spoločností, prevádzkovateľov a subjektov zabezpečujúcich bezpečnostné kontroly nákladu a pošty, ktoré prichádzajú z tretích krajín, ako napríklad aj odloženie určitých regulačných požiadaviek v oblasti kybernetickej bezpečnosti, noriem pre detekčné systémy výbušnín a zariadení na stopovú detekciu výbušnín z dôvodu pandémie COVID-19 [11].

4. Legislatíva slovenskej republiky

Slovenská republika je od roku 2004 členom EÚ, to znamená, že aj regulácia v oblasti civilného letectva prebieha na jej úrovni. Orgány EÚ prebrali väčšinu právomocí členských štátov a snažili sa zaviesť spoločné európske pravidlá a ich dodržiavanie [12].

Ministerstvo dopravy a výstavby SR rozhoduje o prijatí medzinárodných štandardov a odporúčaní medzinárodných organizácií a taktiež je jeho úlohou vydávanie ďalších všeobecne záväzných pravidiel [3] [13].

Úlohou Divízie civilného letectva **Dopravného úradu** je v prvom rade zabezpečovanie výkonu štátnej správy a štátneho odborného dozoru, dodržiavanie úloh, ktoré pramenia z leteckého zákona a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov, právne záväzných aktov EÚ a medzinárodných zmlúv, ktoré zaväzujú Slovenskú republiku k ich plneniu [14].

Zákon č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve je najvýznamnejším normatívnym aktom, ktorý sa zaoberá právnou úpravou ochrany pred protiprávnymi činmi. Celkovo je rozdelený na dvanásť častí, pričom problematikou v tejto oblasti sa zaoberá siedma časť [15].

Predpisy „L“ sú z hľadiska ochrany pred nezákonnými činmi primárnymi dokumentmi v národnej legislatíve a vydávajú sa prostredníctvom úpravy MDV SR, to znamená ako transformácia ANNEX 17. Ich úlohou je upravovať pôsobnosť jednotlivých subjektov a fyzických osôb, ktoré sa zúčastňujú na organizovaní, realizácii a plánovaní leteckej prevádzky so zámerom členských štátov o dosiahnutie maximálnej bezpečnosti a ochrany pred protiprávnymi činmi nielen pre cestujúcich, ale aj posádku, personál či verejnosť [16].

Národný program bezpečnostnej ochrany je zameraný na dosiahnutie vysokej úrovne bezpečnosti, regulárnosti a zefektívnenie leteckej dopravy [17].

5. Právna úprava v podmienkach českej republiky

Česká republika taktiež podlieha reguláciám a harmonizáciám EÚ, rovnako ako aj Slovenská republika. Z dôvodu snahy členských štátov o preloženie viacerých právomocí na európske orgány bola činnosť národných inštitúcií výrazným spôsobom potlačená. Pre zjednodušené vysvetlenie ide o zavádzanie európskych predpisov a kontrolu dodržiavania týchto pravidiel na nacionálnej úrovni, čo má za následok výrazné reštrikcie na tvorenie vlastných noriem [18].

Ministerstvo dopravy ČR je jedným z najdôležitejších orgánov pôsobiacich na území ČR. Je zodpovedné za vytváranie štátnej politiky v dopravnej oblasti a v rozmedzí svojich kompetencií sa podieľa aj na ich uskutočňovaní. Oddelenie leteckej dopravy sa zaoberá hlavne dojednávaním medzinárodných zmlúv a vykonáva kontrolu opatrení a dodržiavanie týchto záväzkov. Oddelenie ochrany civilného letectva pred protiprávnymi činmi má takisto širokospektrálnu funkciu. V prvom rade uskutočňuje štátny expertízny dozor, editovanie, koordináciu a revíziu národných programov a v druhom rade sa venuje akreditácii pre výcviky, školenia a činnosti Medzirezortnej komisie pre bezpečnosť civilného letectva [18].

Úrad pro civilní letectví je podriadený Ministerstvu dopravy, je zodpovedný za realizáciu podstatných krokov v rámci civilného letectva, okrem vyšetrovania leteckých nehôd. Vzhľadom na vzťahy v spojitosti konania európskych predpisov má významnú rolu ako vnútroštátny dozorný orgán, pričom jeho povinnosťou je kontrolovať dodržiavanie týchto nariadení a vykonávanie európskej legislatívy [19] [20].

Zákon o civilním letectví je hlavným dokumentom v oblasti leteckej dopravy ČR. Do dnešnej doby bol dvadsaťjedenkrát pozmenený, pričom posledná zmena sa uskutočnila v roku 2016. Obsahuje kompletnú úpravu, pričom jeho ôsma časť sa prednostne venuje problematike ochrany civilného letectva pred protiprávnymi činmi [21].

Národný predpis L17 bol prostredníctvom Ministerstva dopravy pretransformovaný do národnej legislatívy. Cieľom tohto predpisu je zabezpečiť maximálnu bezpečnosť cestujúcich, personálu a posádky vo všetkých smeroch ochrany a upraviť práva a povinnosti subjektov, ktoré pôsobia v civilnom letectve [3].

Národné bezpečnostné programy ČR spočiatku slúžili ako dodatky k predpisu L17, avšak v súčasnosti sú vydávané ako samostatné celky na základe zmocnenia v priamo aplikovateľnom práve, ktoré vychádza z EÚ. Formálne boli národné bezpečnostné programy oddelené od L17, pravidlá sú však naďalej obsiahnuté priamo v nich. Zároveň sa tu nachádzajú ďalšie ustanovenia uložené Ministerstvom dopravy a EÚ. Programy zostali celkovo tri:

- *Národný bezpečnostný program ochrany civilného letectva pred protiprávnymi činmi („NBP“)* - určený je najmä prevádzkovateľom letísk, dopravcom, Polícii ČR a taktiež colným úradom
- *Národný program bezpečnostného výcviku v civilnom letectve ČR („NBPV“)* - sú v ňom zahrnuté hlavne povinnosti jednotlivých subjektov, postupy pri náboře novoprijatých zamestnancov, druhy odbornej prípravy a zásady súvisiace s výcvikom v oblasti bezpečnosti
- *Národný program riadenia kvality bezpečnostných opatrení k ochrane civilného letectva ČR pred protiprávnymi činmi („NPRK“)* - zabezpečuje kvalifikáciu, kontrolu bezpečnostných auditov, nápravu v opatreniach, ak by boli zistené akékoľvek nedostatky a v neposlednom rade sa zaoberá kontrolnou činnosťou [22].

Letecký zákon môžeme považovať za gro z hľadiska právnej úpravy oboch štátov a práve od neho sa odvíjajú ostatné právne predpisy, najmä predpisy radu „L“. Vzhľadom na to, že moja práca sa zaoberá problematikou ochrany pred protiprávnymi činmi v civilnom letectve, podrobnejšie som sa venovala analýze leteckého predpisu L17, ktorý ma v prípade ČR milo prekvapil veľmi prehľadnou formou, narozdiel od SR. Aj napriek jeho rozsiahlosti, je vhodne štruktúrovaný, sú v ňom zrozumiteľne obsiahnuté všetky podstatné informácie, ktoré sa týkajú danej problematiky.

Podľa môjho názoru je slovenský letecký zákon nevhodne systematizovaný a orientácia v ňom bola často pomerne náročná. Postupne dochádzalo k niekoľkým zmenám a novelizáciám v oblasti civilného letectva na medzinárodnej úrovni, ktoré by sme mohli prirovnať k „hromadeniu“ nových ustanovení do leteckého zákona, čo malo za následok vytvorenie nekonzekventného systému. Ak by som mala komplexne porovnať systémy oboch spomínaných štátov, myslím si, že z hľadiska efektívnosti, praktickosti a lepšieho fungovania je český systém vhodnejší oproti slovenskému.

6. Predpokladaný vývoj bezpečnostných opatrení a detekčných metód do budúcnosti

Bezpečnostné opatrenia, ktoré sú implementované na jednotlivých medzinárodných letiskách po celom svete sa môžu vo viacerých aspektoch odlišovať a závisia najmä od prístupu daného letiska a zamestnancov, ktorí tam pôsobia a podieľajú sa na ich plnení. Zabezpečenie maximálneho štandardu v oblasti bezpečnostnej ochrany je veľmi dôležité, a preto je nevyhnutné, aby boli opatrenia dodržiavané, zjednocované a inovované, inak by v opačnom prípade mohlo dôjsť k nežiadúcim činom, ktoré by negatívnym spôsobom mohli ovplyvniť leteckú dopravu. Trend posledných rokov ukázal, že postupy a metódy páchatelov nezákonných činov sú čoraz dokonalejšie a nebezpečnejšie a s tým súvisí aj modernizácia a príprava letísk na včasné

zasiahnutie, a preto je potrebné, aby zabezpečenie letiska bolo pred páchatelmi o krok vpred [23].

1. Predbežné hodnotenie cestujúcich

Myšlienka o vytvorení počítačového systému, ktorý by bol schopný takéhoto hodnotenia, siaha už do obdobia pred začiatkom nového milénia. Prvým systémom tohto typu je tzv. CAPPs, ktorého úlohou je vybrať potenciálnych páchatelov vyššie spomínaného aktu a zabezpečiť tak zvýšenú kontrolu daného cestujúceho a jeho batožiny. Rok 2001 spôsobil výrazné zmeny a poukázal na takmer bezproblémové preniknutie cez bezpečnostné systémy. V roku 2003 prišiel návrh o vylepšenú verziu CAPPs II, ktorý mal porovnávať údaje cestujúceho so štátnou a komerčnou databázou, prípadne overiť možné kriminálne aktivity alebo väzby daného subjektu na teroristické organizácie či skupiny. Aj keď sa v nasledujúcich rokoch očakáva ich aktualizácia na zaistenie bezpečnosti počas letu alebo pohybu po letisku, úspešnosť tohto systému v budúcnosti je však zatiaľ otáznava, pretože sa už od počiatku stretáva s problémami, a to práve kvôli obavám ľudí z dôvodu narušovania ich súkromia [23] [24].

2. Prístroj Malintend

Predstavuje zariadenie vyvinuté na pomoc s protiprávnymi činmi, schopné pomocou citlivých senzorov identifikovať správanie človeka a jeho myseľ na diaľku, tzn. bezkontaktné, prípadne jeho potenciálny úmysel uškodiť svojmu okoliu. Systém pracuje na základe analýzy telesnej teploty, frekvencie srdca a rýchlosti dýchania, ktoré nie je možné postrehnúť voľným okom a následne sú odoslané na porovnávanie so zavedenými štandardmi. Systém je veľmi sofistikovaný, vie vykonávať viacero činností zároveň a dokáže zmerať sedem primárnych emócií či podnetov, ktoré možno identifikovať napríklad z mikropohybov svalov v oblasti tváre. Myšlienka o „čítaní myšlienok“ je stále vo fáze vývoja a skúmania, avšak predpokladá sa, že v nasledujúcich rokoch by sa tento koncept mohol objaviť na verejných medzinárodných letiskách po celom svete [24].

3. Centralizované spracovanie obrazu (CIP)

Detekčná kontrola príručnej batožiny pomocou CIP spočíva vo vytváraní snímok batožiny, ktoré sú generované röntgenom alebo 3D CT strojmi. Táto metóda bola implementovaná na viacerých európskych letiskách a ukázalo sa, že potenciálne zvyšuje výkon detekcie, priechodnosť, kapacitu či spokojnosť zamestnancov. Na základe systematického skúmania prostredníctvom prístupu viacerých metód boli vyhodnotené výhody a nevýhody tohto systému na základe poznatkov získaných zo skúseností priekopníkov a prvých používateľov. Jednou z hlavných výhod je, že bezpečnostní kontrolóri nemusia nevyhnutne sedieť za röntgenovými prístrojmi, aby mohli vyhodnotiť jednotlivé snímky a môžu pracovať s viacerými zariadeniami súčasne, čo predstavuje efektívnejší spôsob práce a väčšiu priestorovú flexibilitu pri organizovaní analýzy obrazu. Naopak, nevýhoda by mohla nastať pri umiestnení týchto zariadení mimo kontrolné body a taktiež ich časové obmedzenie [25] [26].

4. Neautorizované zachádzanie s batožinou

Vedenie letísk bojuje v posledných rokoch s problémom nelegálnej manipulácie s batožinou cestujúcich, ktorá sa týka najmä jej poškodenia, otvorenia alebo vykradnutia. Týka sa to nielen európskych liniek, ale aj letov prebiehajúcich na africkom

kontinente, a to hlavne v období leta, kedy narastá počet letov smerujúcich do rekreačných destinácií. Pre letisko nie je však jednoduché určiť, kedy a kde presne došlo k danému incidentu, a preto je potrebné uskutočniť kroky, aby sa v čo najväčšej miere zamedzilo vzniku takýchto situácií. Jedným z takých opatrení je zamestnávanie iba takých zamestnancov, ktorí sú bezúhonní a tí, ktorí pracujú v tzv. citlivých zónach, kde patrí napríklad odbavovacia plocha, tranzitný priestor či paluba lietadla, sú okrem iného taktiež preverovaní Národným bezpečnostným úradom. Ďalší možný spôsob ako vyriešiť tento problém je zavedenie kamerového systému na miestach, kde pravdepodobne najčastejšie dochádza k takýmto incidentom. Pre zamestnancov v týchto priestoroch to znamená nepretržitú kontrolu, ktorú ešte umocňujú námatkové kontroly po ukončení nakládky, ktoré zahŕňajú prehliadku osobných vecí, skriniek v šatni či dokonca služobných vozidiel [24].

5. Prevádzkové opatrenia

Z hľadiska prevádzky je odporúčané zavedenie väčšieho počtu hliadok v budove terminálu, v okolí odbavovacích prepážok či v krízových častiach, kde je vyžadovaná zvýšená pozornosť a pomocou kamerového systému zabezpečiť adekvátny dozor, ktorých úlohou je zamedziť akémukoľvek potenciálnemu útoku v týchto priestoroch. Dôležitým upozornením pre personál je aj všímanie si batožiny alebo predmetov, ktoré sú bez dozoru a môžu predstavovať riziko nebezpečenstva [27].

6. Technické opatrenia

Existuje viacero spôsobov, akými môžu byť zavedené technické opatrenia na letisku. Jedným z nich je implementácia kamerových systémov slúžiacich k identifikácii a sledovaniu potenciálnych páchatateľov. Termické kamery sa využívajú najmä pri odhalení cestujúcich, ktorí by mohli prenášať nebezpečnú infekčnú chorobu, čím by mohli byť dostatočne včas prijaté opatrenia na zabránenie ďalšiemu šíreniu [74]. Modernjšie technológie ochrany perimetra letiska zahŕňajú signalizáciu po jeho celom obvode, ktorá funguje na princípe senzorových káblov umiestnených pod zemou. Tieto senzory fungujú ako vyžarovače vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa. Výhodou tohto systému je fakt, že dokáže vylúčiť zo svojho záujmu sledovania zver, rôzne druhy vtáctva či nepriaznivé vplyvy počasia [27].

6.1. SECURITY 2040

Bezpečnostná ochrana letectva sa za posledné desaťročie citeľne zmenila a spoločne s ňou sa objavili aj nové hrozby v podobe rôznych druhov chemikálií, bezpilotných prostriedkov, laserov či kybernetického nebezpečenstva. Letiská sú v dnešnej dobe popri samotných letoch čoraz viac považované za ideálny cieľ, čo má za následok postupné stenčovanie hraníc medzi bezpečnosťou a bezpečnostnou ochranou, spolu s nárastom protestov a narušení, nehovoriac o novovzniknutej výzve, ktorej musí letecká doprava v súčasnosti čeliť, a tou je pandémia COVID-19. Sociálne siete spoločne s internetom predstavujú veľmi ľahký anonymný spôsob ohrozenia a týmto umožňujú slobodnú kooperáciu a koordináciu jednotlivých organizovaných skupín, ktoré predstavujú pre leteckú dopravu nebezpečenstvo [28].

S rýchlym napredovaním technológií možno do budúcnosti predpovedať, ako sa trend v oblasti bezpečnostnej ochrany bude vyvíjať. Nová vízia "Smart Security" pre bezpečnosť v roku 2040 je zameraná hlavne na bezpečnostný systém „celého

letiska“, skúma trendy na mikro a makro úrovni, ktoré ovplyvňujú letiská, ako napríklad rast dopravy, udržateľnosť, očakávania cestujúcich, vznikajúce bezpečnostné hrozby a dôsledky na letiskovú infraštruktúru. Medzi kľúčové prvky tejto vízie patrí využitie údajov a procesov hodnotenia rizika, prediktívne technológie, analýza správania, automatizácia či inteligentná detekcia hrozieb. Predstavou je aj samostatná technológia detekcie výbušnín, ktorá by mohla byť zabudovaná do terminálu letiska či inteligentné skúmanie videa, ktoré má pomôcť pri identifikácii hrozieb na pevnine v prípade neobvyklého správania sa osoby alebo ponechaní veci bez akéhokoľvek dozoru. Kontrolné body by sa mali stať do veľkej miery automatizovanými bránami s inteligentnou detekciou hrozieb. Je to pravdepodobná budúcnosť v tejto oblasti, avšak bude si vyžadovať investície, technologicky modernejšie systémy a v neposlednom rade regulačné zmeny. Pre menšie letiská musí byť nájdený vhodnejší spôsob na zaistenie komplexnejšej a efektívnejšej bezpečnosti [28].

1. ACI's Airport Excellence Programme (APEX)

V oblasti bezpečnosti sú sústredení odborníci zo všetkých kútov sveta, ktorých úlohou je dôkladne preskúmať letiská a zvoliť adekvátne rady a odporúčania, ktoré sú založené na ich skúsenostiach a odborných znalostiach. Za posledné roky ACI zhromaždila viaceré skúmania a identifikovala najmä tie oblasti, v ktorých majú letiská najväčší problém a potrebujú pomoc. V rámci toho bolo jedným z kľúčových zistení, že letiská, orgány bezpečnosti a civilného letectva pristupujú k problematike bezpečnosti po kúskoch. Niektoré z dôležitých prvkov sú stále nedostatočne pochopené, ktorými sú napríklad analýza rizík, bezpečnostná kultúra či riadenie kvality [28].

2. Manažment a organizácia

Z hľadiska manažérskeho prístupu k bezpečnosti sa s istotou nejedná o novovytvorený koncept, ale s dosiahnutím väčšieho dôrazu budeme pravdepodobne schopní vzdorovať výzvam, ktorým čelíme v súčasnosti. Na zabezpečenie efektívneho riadenia je potrebné, aby letiská zabezpečovali poskytovanie bezpečnostných služieb systematicky, pričom takýto spôsob je podobný podnikaniu. Je známych sedem vzájomne prepojených komponentov, ktoré majú rozhodujúci vplyv na proaktívny prístup k bezpečnosti, ktorý je zameraný na podnikanie, a to:

1. Závazok manažmentu.
2. Riadenie hrozieb a rizík.
3. Rozdelenie zdrojov.
4. Monitorovanie a meranie výkonu.
5. Manažment kvality.
6. Riadenie nehôd.
7. Systém riadenia bezpečnosti (SeMS) [28].

3. Ľudia a ich výkony

Zabezpečenie správnych ľudských zdrojov by malo byť základným kameňom riadenia bezpečnosti, ktoré zahŕňa hlavne ich nábor, školenie, certifikáciu a presvedčiť sa, či sú dostatočne motivovaní na zotrvanie v organizácii. Po najatí a vyškolení vhodných adeptov je úlohou monitorovať a merať ich výkon kvôli ubezpečeniu, že spĺňajú bezpečnostný cieľ letiska. Ukazovatele výkonnosti prevažne spadajú do troch kategórií: výkon, efektivita a skúsenosti cestujúcich. Mali by byť zavedené ciele, nástroje na meranie týchto údajov a systémy podávania správ, ktorými sú napríklad tabuľky s výsledkami a tzv. „dashboardsy“ zabezpečujúce monitorovanie celkového výkonu bezpečnostného systému letiska. Ak by bol zistený slabší výkon,

ako je požadovaný, je nutné preskúmať, či je potrebné viac tréningu, nastal nesúlad zručnosťou alebo sa jednalo o preťaženie [28].

4. Kontrola kvality a audit

Jednotlivé tímy bezpečnostnej ochrany letiska by mali mať zavedené programy kontroly kvality, ktoré by obsahovali audity, inšpekcie, testy a v neposlednom rade cvičenia. Zaznamenané nedostatky by mali viesť k náprave v rámci bezpečnostných opatrení a zároveň je možné prostredníctvom týchto auditov identifikovať oblasti, kde výkonnosť nepredstavuje problém, z toho vyplýva, že by sa viaceré audity mohli sústrediť na miesta, ktoré to viac potrebujú. Letiská by mali mať vypracované plány v prípade núdzovej situácie a následne byť použité pri bezpečnostných incidentoch. Po ich ukončení je cieľom podrobne preskúmať jednotlivé incidenty a odniesť si z nich získané ponaučenia. Prioritou by malo byť pokračovanie v prevádzke, pokiaľ to situácia dovoľuje a je bezpečná, taktiež efektívna komunikácia a udržiavanie dôvery personálu a cestujúcich, ktoré môžu pomôcť pri efektívnom vyriešení malých, ale aj veľkých incidentov a týmto spôsobom sa vyhnúť finančne nákladnej evakuácii a veľkým stratám [28].

5. Systém SeMS

Je dôležité, aby vyššie spomínané komponenty navzájom spolupracovali, aby letisko dynamicky reagovalo na neustále meniace sa situácie. Ako príklad by sme mohli uviesť nové údaje z činností kontroly kvality, ktoré by sa podieľali na preskúmaní a posúdení rizika letiska, ktoré by následne viedlo k zmene v bezpečnostnom programe letiska a prijatím nových opatrení. Cieľ letísk by mohol spočívať v zameraní sa na kontinuálnom zlepšovaní či už svojho programu v oblasti bezpečnosti alebo prijatím systému, ktorý sa zaoberá riadením bezpečnosti, známeho ako SeMS, ktorý je používaný mnohými zainteresovanými stranami v oblasti leteckej dopravy. Pokiaľ tento systém funguje bez problémov, je oveľa jednoduchšie integrovať nové postupy, čeliť novovznikajúcim hrozbám a zabezpečiť plynulý chod podnikania aj napriek incidentom, ktoré by sa mohli vyskytnúť [28].

7. Záver

Letecká doprava predstavovala už v minulom storočí ideálny cieľ pre páchanie protiprávnych činov. Ak by sme chceli odpovedať na otázku, prečo musela byť postupne legislatíva upravená a aktualizovaná, odpoveď by sme našli už v samotnej povahe leteckej dopravy, ktorá funguje medzinárodne. Jej celosvetový charakter, ktorý získala za pomerne krátky čas, ju predurčil k prekročovaniu hraníc už od jej počiatku. Z dôvodu nejednotnej legislatívy a jednotlivých opatrení v jednotlivých štátoch po celom svete sa výrazne zvýšilo riziko pravdepodobnosti výskytu vzájomných konfliktov, keďže dovtedy postačujúca vnútroštátna úprava už v tom čase nebola aktuálna. Ako možné riešenia sa ponúkali jednania konajúce sa na medzinárodnej úrovni za účelom zjednotenia niektorých pravidiel v leteckej doprave.

Pri položení otázky, či je súčasný stav leteckej dopravy na dostatočnej úrovni a je zabezpečená maximálna možná miera ochrany, odpoveď by bola z môjho pohľadu nejednoznačná. Pri rešpektovaní bezpečnostných opatrení a dodržiavaní metód a postupov v spojení s využitím najmodernejších technológií zameraných na využitie umelej inteligencie je možné dosiahnuť vysokú úroveň bezpečnosti. Jedným z problémom, ktoré

narúšajú ideálnu harmóniu je fakt, že páchatelia protiprávnych činov sú spravidla o krok vpred pred opatreniami, a preto je veľmi dôležité, aby bol s využitím inovatívnych zariadení tento rozdiel čo najmenší. Z tohto dôvodu bola posledná časť tohto článku zameraná na vývoj technológií do budúcnosti, ktoré by mali prispieť k dokonalejšiemu systému zabránenia útočníkom vykonať akýkoľvek nezákonný akt či už v priestoroch letiska alebo na palube lietadla.

Tento článok sa snaží poukázať na dôležitosť a nevyhnutnosť spolupráce všetkých segmentov pôsobiacich v oblasti bezpečnostnej ochrany civilného letectva. Na základe štúdia literatúry, odborných materiálov a dôveryhodných internetových stránok bola snaha o čo najlepšie priblíženie problematiky v tejto oblasti, potrebu jednotnej medzinárodnej úpravy a možné riešenia na zabezpečenie lepšej budúcnosti v rámci bezpečnosti.

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] MARRIOTT, J. 2020. Today's Turbulence and Securing Tomorrow's Skies. In: *Aviation Security International*, 2020, vol. 26, issue 6, p. 18-19.
- [2] SMETANA, M. - ŠČUREK, R. 2010. *Základy boje proti terorizmu*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2010. 149 s. ISBN 978-80-7368-823-3.
- [3] NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. - KANDERA, B. 2015. *Medzinárodnoprávna úprava ochrany civilného letectva pred činní protiprávneho zasahovania*. Bratislava: DOLIS s.r.o, 2015. 133 s. ISBN 978-80-8181-028-2.
- [4] BÍNA, L. - ŽIHLA, Z. 2011. *Bezpečnosť v obchodní letecké dopravě*. Akademické nakladatelství CERM s.r.o, 2011. 213 s. ISBN 978-80-7204-707-9.
- [5] Předkládací zpráva pro Parlament České republiky, *Úmluva o potlačování protiprávních činů souvisejících s mezinárodním civilním letectvím a Protokolu doplňujícího Úmluvu o potlačení protiprávního zmocnění se letadel* [online]. [cit. 2021-3-1]. Dostupné na internete: <<https://www.psp.cz/sqw/text/orig2.sqw?idd=84986>>
- [6] SIPOS, A. 2020. The dogmatics and Modernisation of International Conventions on Aviation Security. In *Elte law journal* [online]. 2021 [cit. 2021-3-2]. Dostupné na internete: <https://eltelawjournal.hu/the-dogmatics-and-modernisation-of-international-conventions-on-aviation-security/>
- [7] ICAO Global Aviation Security Plan (GASeP) [online]. [cit. 2021-3-4]. Dostupné na internete: <https://www.icao.int/Security/Pages/Global-Aviation-Security-Plan.aspx>

- [8] *Doc 10118. Global Aviation Security Plan, first edition, 2017.* [online]. [cit. 2021-3-4]. Dostupné na internete: <https://www.icao.int/Security/Documents/GLOBAL%20AVIATION%20SECURITY%20PLAN%20EN.pdf>
- [9] NARIADENIE (ES) Č. 2320/2002 EURÓPSKEHO PARLAMENTU A EURÓPSKEJ RADY zo 16. decembra 2002 o ustanovení spoločných pravidiel v oblasti bezpečnostnej ochrany civilného letectva [online]. [cit. 2021-3-4]. Dostupné na internete: <https://op.europa.eu/sk/publication-detail/-/publication/89fe2ceb-4b2c-4491-b62a-d8cbd77615e0/language-sk>
- [10] *Civil aviation security: EU-wide rules* [online]. [cit. 2021-3-8]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM:tr0028>
- [11] VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2020/910. [online]. [cit. 2021-3-9]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020R0910&from=EN>
- [12] PRŮŠA, J. a kol. 2015. *Svět letecké dopravy*. II., rozšířené vydání. Praha: Galileo Training s. r. o., 2015, s. 55. ISBN 978-80-260-8309-2.
- [13] Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky. [online]. [cit. 2021-3-19]. Dostupné na internete: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/civilne-letectvo/letecka-doprava>
- [14] Dopravný úrad SR [online]. [cit. 2021-3-19]. Dostupné na internete: <http://letectvo.nsat.sk>
- [15] Zákon č. 143/1998 Z. Z. o civilnom letectve a o zmene a doplnení niektorých zákonov (letecký zákon) [online]. [cit. 2021-3-17]. Dostupné na internete: <https://www.zakonypreludi.sk/zz/1998-143>
- [16] Letecký predpis L 17, Ministerstva dopravy. *Letecký predpis ochrany civilného letectva pred činními protiprávneho zasahovania*.
- [17] Národný program ochrany civilného letectva pred činními protiprávneho zasahovania [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné na internete: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/civilne-letectvo/legislativa-v-oblasti-civilneho-letectva/pravne-predpisy-slovenskej-republiky-v-oblasti-civilneho-letectva/NPOCLPCPZ>
- [18] MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKEJ REPUBLIKY [online]. [cit. 2021-3-22]. Dostupné na internete: <https://turbo.cdv.tul.cz/mod/page/view.php?id=3117>
- [19] Úřad pro civilní letectví. *Bezpečnost, ochrana mezinárodního civilního letectví před protiprávními činy: Letecký předpis L 17*. In: Ministerstvo dopravy ČR, [online]. 2018 [cit. 2021-3-25]. Dostupné na internete: https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-1/data/print/L-1_cely.pdf
- [20] Úřad pro civilní letectví [online]. [cit. 2021-3-25]. Dostupné na internete: <https://www.caa.cz/urad-pro-civilni-letectvi/>
- [21] ZÁKON č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění pozdějších předpisů zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů.
- [22] Úřad pro civilní letectví. *Národní programy* [online]. [cit. 2021-3-29]. Dostupné na internete: <https://www.caa.cz/ochrana-civilniho-letectvi/narodni-programy/>
- [23] MARŠÁLEK, D. - PALATÁŠ, O. - ŠČUREK, R. Předběžné hodnocení cestujících za účelem zvýšení bezpečnosti civilního letectví [online]. [cit. 2021-3-31]. Dostupné na internete: <http://www.population-protection.eu/prilohy/casopis/20/140.pdf>
- [24] ŠČUREK, R. Ochrana na letišti [online]. [cit. 2021-3-31]. Dostupné na internete: <http://abasreport.cz/casopisy/07/ochrana-na-letisti>
- [25] *Centralised Image Processing: The impact on security checkpoints* [online]. [cit. 2021-1-4]. Dostupné na internete: <https://www.semanticscholar.org/paper/CENTRALISED-IMAGE-PROCESSING-%3A-THE-IMPACT-ON/13d42d0b22035248462dfcd3aeda0462f52f55a7>
- [26] BUSER, D. - MERKS, S. 2020. Centralised Image Processing: challenges, trends and time on task. In: *Aviation Security International*, 2020, vol. 26, issue 6, p. 33-35.
- [27] ŠČUREK, R. *Studie analýzy rizika protiprávních činů na letišti* [online]. 2009. [cit. 2021-1-7]. Dostupné na internete: https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/060/.content/galerie-souboru/studijni-materialy/analzy_rizika_letisti.pdf
- [28] BROOKS, N. 2020. A new old approach to security? New threats, new challenges. In: *Aviation Security International*, 2020, vol. 26, Issue 2, p. 16-17.

THE CORONACRISIS AND ITS IMPACT ON CHANGES IN CIVIL AVIATION LEGISLATION

KORONAKRÍZA A JEJ DOPA NA ZMENY V LEGISLATÍVE CIVILNÉHO LETECTVA

Robert Verhaar
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
robert-verhaar@hotmail.com

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

Abstract

The paper deals with the analysis of the impact of the coronacrisis on civil aviation legislation. Its main goal is to analyse the impact of the coronacrisis and some of the measures taken to mitigate this impact on civil aviation. The paper consists of four chapters. The first chapter is focused on the analysis of the onset of the crisis in civil aviation caused by the spread of the COVID-19 disease and has also present the previous crises in the field of civil aviation, that had impact on civil aviation. In addition, this part of the article is focused on impacts of the coronacrisis on the condition of the civil aviation sector worldwide. The second chapter is devoted to some measures and methods proposed to mitigate the impacts of the coronacrisis on civil aviation and focuses and analyses some of the measures taken to mitigate the impact of the coronacrisis on the civil aviation. In the next chapter we describe the situation in the EU, subsequent legislation changes that were supposed to mitigate the situation as well as explaining the approach of individual EU member states to state aid towards air transport at present and the EU's position on the issue. The fourth and last chapter describes the position of the Slovak Republic and the proposed solutions to the situation.

Keywords

COVID-19 Pandemic, Civil aviation, Airlines, Civil aviation legislation, Airports

1. Úvod

Témou tohto článku je Koronakríza a jej dopad na zmeny v legislatíve civilného letectva a je zameraný hlavne na dopad tejto pandémie na civilné letectvo a opatrenia zavedené v snahe zmierniť tento dopad. Túto tému sme sa rozhodli spracovať z viacerých dôvodov. Jedným z nich bol, že je aktuálna a taktiež spomínaný fakt, že civilné letectvo vo svojej histórii takú krízu ešte nezažilo. Téma je tiež zaujímavá v skúmaní a sledovaní, ako jednotlivé letecké spoločnosti na takúto krízu zareagovali, a aké rôzne a neobvyklé opatrenia zaviedli v snahe aspoň čiastočne vo svojej prevádzke pokračovať.

Cieľom článku je vytvoriť stručný prehľad o dopade koronakrízy na stav civilného letectva vo svete a na Slovensku, oboznámiť o opatreniach zavedených v snahe zmierniť tento dopad po celom svete, v EÚ a v podmienkach Slovenskej republiky.

Vyplyvajú z týchto cieľov bol článok rozdelený do štyroch kapitol. Prvá kapitola obsahuje okrem vývoja situácie po začiatku šírenia ochorenia COVID-19 aj vývoj predchádzajúcich kríz, ktoré podobne zasiahli v minulosti civilné letectvo, ale nikdy ich dopady neboli tak zásadného charakteru ako v súčasnosti. Popisuje stručné dopady koronakrízy na civilné letectvo vo svete a na Slovensku a zmeny v civilnom letectve prostredníctvom vývoja danej situácie spracovaného graficky na časovej osi, kde sú označené veľké míľniky počas pandémie. V druhej kapitole sú opísané niektoré zavedené opatrenia na zmiernenie dopadu koronakrízy a ako museli letecké spoločnosti prispôbiť svoje fungovanie situácií, ktorá nastala vo svete. Tretia kapitola je venovaná legislatívnym riešeniam, ktoré ponúkla v tejto situácii

EÚ. V štvrtej a poslednej kapitole je priblížený prístup k zmierneniu dopadov koronakrízy na civilné letectvo v SR.

Keďže bol článok napísaný priamo počas pandémie, boli použité aktuálne údaje, či už údaje týkajúce sa počtu infikovaných, počtu poklesu cestujúcich v leteckej preprave, zavedených opatrení ale aj nových prijatých zákonov.

2. Dopad koronakrízy na stav civilného letectva vo svete

2.1. Krízy v civilnom letectve pred pandemiou COVID-19

2.1.1. Útoky z 11. septembra 2001

Jednou z kríz pre civilné letectvo pred pandemiou COVID-19 boli útoky z 11. septembra 2001, kde boli ako zbrane používané práve lietadlá. Vzdušný priestor nad Amerikou a Kanadou boli zatvorené, to znamenalo že žiadne lietadlo nemohlo vzlietnuť a cestujúcim sa rušili lety. Následne museli letecké spoločnosti kompenzovať škody cestujúcim. United Airlines a American Airlines, spoločnosti ktorých lietadlá boli v útoku používané, poskytli rodinám obetí až 25,000\$ na rodinu. Strach verejnosti z využitia leteckej prepravy pre možnosti nového útoku znamenali prudký pokles dopytu po leteckej doprave, až o 30% v USA [1]. Ceny akcií leteckých spoločností a leteckých výrobcov taktiež prudko klesli po útoku. Ďalším leteckým spoločnostiam hrozil bankrot a v dôsledku týchto udalostí sa v nasledujúcich týždňoch po útoku prepúšťali desaťtisíce ľudí pracujúcich v leteckom

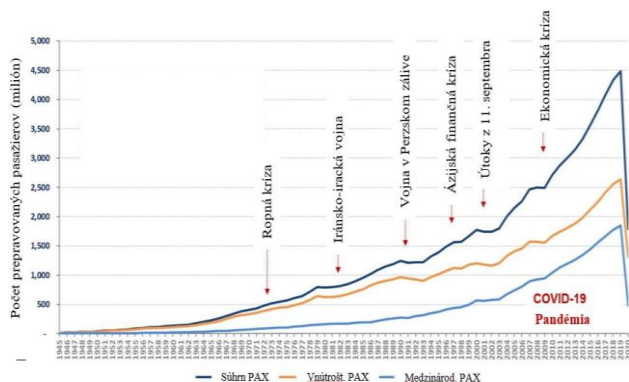
priemysle. Letecký priemysel prežil túto krízu a pomaličky sa z toho dostal, ale zanechal trvalé následky na letecký priemysel.

2.1.2. Ekonomická kríza 2008 (Veľká recesia)

Ekonomická kríza v rokoch 2007-2009 bola spôsobená viacerými faktormi, napríklad vyhlásenie bankrotu jedným z najväčších investičných bánk v USA, Lehman Brothers, a prasknutie tzv. bubliny v oblasti bývania v rokoch 2007-2008. Klesli ceny nehnuteľností na bývanie a hodnota cenných papierov krytých hypotékou v rukách investičných bánk, taktiež klesla [2]. Táto kríza zasiahla aj letecké spoločnosti. Väčšina ľudí sa snažila šetriť, a veľký počet ľudí stratilo zamestnanie, nemali finančné prostriedky na kúpu leteniek. Znížil sa počet prepravovaných cestujúcich ako aj dopyt po letenkách vo vyšších triedach [3]. Nepomohla ani nestabilná cena ropy, ktorá dosiahla rekordné ceny. Niektoré letecké spoločnosti vyhlásili bankrot, iné sa z toho pomaly dostali. Medzinárodné združenie leteckých dopravcov (IATA) za rok 2008 odhadla straty v letectve vo výške až 10,4 miliárd amerických dolárov.

2.1.3. Výbuch sopky Eyjafjallajökull

14. apríla 2010 vybuchla Islandská sopka Eyjafjallajökull, ktorá vypustila do atmosféry hustý mrak popola siahajúca do výšky až 3 kilometre, smerujúci do Európy. Kvôli obave o bezpečnosť leteckých motorov došlo k prerušeniu letovej prevádzky nad väčšinou územia Európy od 15. apríla až do 21. apríla. Bolo zrušených až 48% letov, ktoré zasiahli zhruba 7 miliónov cestujúcich, z toho 6 miliónov v Európe a 1 milión mimo Európy. Straty pre letecký priemysel boli odhadnuté na približne 1,5 až 2,5 miliárd eur.



Obrázok 19 Dopad kríz na počet prepravovaných pasažierov, 1945-2020. Zdroj: [4].

2.2. Dopad koronakrízy na stav civilného letectva vo svete

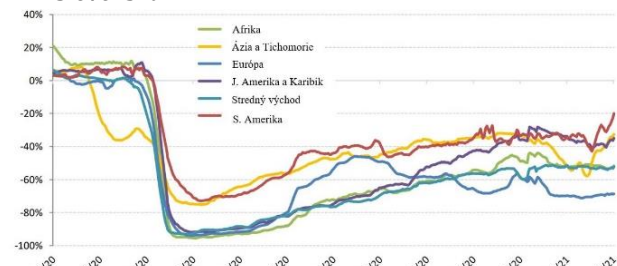
Koncom januára, začiatkom februára začali letecké spoločnosti rušiť lety na čínsku pevninu. Najprv do postihnutých oblastí, hlavne do mesta Wuhan, ale každým dňom stúpali čísla infikovaných vírusom v okolitých oblastiach a tak začali letecké spoločnosti postupne rušiť lety na celú čínsku pevninu. Dôvodom bolo zamedzenie prístupu ľudí do niektorých krajín, vrátane USA, ktorí boli v blízkej minulosti odcestovaní v Číne. To znamenalo prudký pokles dopytu po letoch do Číny. Vírus sa však začal šíriť, a to malo za následok rušenie ďalších letov do tých krajín, kde začal rásť počet infikovaných. Po Číne to boli hlavne tieto krajiny: Južná Kórea, Irán a Taliansko. Po zhoršení sa situácie v celej Európe čo sa týka počtu infikovaných a úmrtí

ľudí na následky vírusu, sa začala zhoršovať aj situácia pre letecký priemysel. 11. marca 2020 vtedajší prezident USA, Donald Trump, oznámil opatrenia, ktoré zavedie jeho vláda ako odpoveď na šíriaci sa vírus. Jedno z opatrení bol aj kompletný zákaz zahraničných cestovateľov, ktorí cestovali zo schengenského priestoru. Keďže sú Severoatlantické letecké trate jedným z najrušnejších vzdušných priestorov vo svete a pre mnoho leteckých spoločností sú najviac ziskové, znamenalo to pre letecké spoločnosti ako Delta a KLM, že sa dostali do krízovej situácie. Okrem transatlantickej prepravy poklesla aj vnútroštátna preprava v USA ako aj vnútroeurópske lety. Skoro každá letecká spoločnosť v Európe zažívala takzvané net-negative rezervácie, čo znamená že vyplácali viac za zrušené

rezervácie, ako mali príjmy z novo vytvorených rezervácií. Pre letecké spoločnosti, ktoré mali svoje finančné problémy už pred pandémiou, bolo vypuknutie COVID-19 poslednou kvapkou pred bankrotom, ako napríklad letecká spoločnosť FlyBe ako aj Juhoafrická štátna spoločnosť a jedna z najväčších spoločností v Afrike, South African Airways. Začalo sa uzemňovanie lietadiel leteckých spoločností, z dôvodu nevyužitia týchto lietadiel, čo spôsobilo veľké finančné problémy.

V júli 2020 sa v krajinách Európskej únie začali zmierňovať opatrenia a cestovné obmedzenia do krajín Európskej únie, ako aj obmedzenia pre niektoré krajiny mimo Európskej únie, po tom, čo prípady infikovaných ľudí v krajinách Európy výrazne klesli, a Európska únia zaviedla cestovateľský semafor. Toto obdobie znamenalo pre európske tradičné a nízko nákladové letecké spoločnosti nárast rezervácií sedadiel na vnútroeurópske lety. V porovnaní s číslami z roku 2019 bol pokles, ale od začiatku pandémie to bol najväčší nárast. V druhej polovici augusta 2020 sa znovu ukázal nárast v počte infikovaných a krajiny sa znovu dostali do lockdownu. To znamenalo pre európske letecké spoločnosti opäť prudký pokles dopytu po leteckej preprave. Pandémia COVID-19 mala, aj stále má, pre civilné letectvo veľký dopad. Zákaz vycestovania, povinná domáca karanténa po príchode zo zahraničia a spomenuté obavy verejnosti z nakazenia sa COVID-19 pri cestovaní malo za následok prudký pokles v dopyte po leteckej doprave od marca 2020 a väčšina medzinárodných leteckých spoločností boli výsledkom týchto opatrení prinútené zastaviť svoju prevádzku. Tieto opatrenia mali za následok, podľa ICAO, pokles o až 60% cestujúcich prepravovaných leteckou prepravou v roku 2020, oproti číslam z roku 2019. Vypuknutie pandémie COVID-19 je prvá globálna pandémia ktorá má dopad na civilné letectvo.

2.3. Dopad koronakrízy na stav civilného letectva na Slovensku



Obrázok 2 Porovnanie celkovej kapacity sedadiel podľa regiónov počas pandémie COVID-19. Zdroj: [5].

Všetkých šesť medzinárodných letísk na našom území neboli zrušením letov na čínsku pevninu nijak ovplyvnené, keďže

letecké spojenie medzi našou krajinou a čínskou pevninou neexistovalo. Keď sa však vírus dostal do Európy, zaviedli sa prvé opatrenia pre leteckú prepravu. Od 25. februára 2020 tak museli cestujúci prichádzajúci z Taliansku na letisko M. R. Štefánika mať vyplnený dotazník, v ktorom mali vyplňať svoje osobné údaje a údaje o lete. Keďže sa situácia v Taliansku začala zhoršovať, sa od 9. marca 2020 zakázali lety z a do Talianska zo slovenských

letísk. Zakázanie týchto letov však obmedzeniu šírenia vírusu na naše územie nepomohlo a tvrdšie opatrenie, na základe rozhodnutia ústredného krízového štábu z dňa 12. marca 2020 znamenali zatváranie všetkých medzinárodných letísk na našom území od 13. marca 2020 s platnosťou na 14 dní, táto doba sa však predĺžila. Výnimkou boli repatričné lety slovenských občanov, kde po príchode na naše územie boli odvedení do povinnej štátnej karantény. V júni 2020 po otvorení hraníc a zavedení cestovateľského semaforu Európskou úniou, sa znovu umožnila aj letecká preprava osôb. Otvorili sa medzinárodné letiská na území Slovenska s letmi do krajín, ktorým Slovensko otvorilo svoje hranice. Čísla z prvého polroku 2020 však ukázali pochopiteľný prudký pokles cestujúcich až o 69%. Na konci roka 2020 sa objavila nová mutácia vo Veľkej Británii a 21. decembra 2020 boli preto zakázané priletý lietadiel z tejto krajiny na slovenské letiská na 72 hodín. Koncoročné čísla Košického letiska ukázali za rok pokles až o 82% cestujúcich v porovnaní s číslami z predošlého roku.

2.4. Zmeny v civilnom letectve dôsledkom pandémie COVID-19

Spoločnosti leteckého priemyslu sa museli rýchlo prispôbiť situácii, to prinieslo niekoľko zmien v civilnom letectve. Napríklad:

2.4.1. Zablokovanie stredného sedadla

Keď sa začali zmierňovať opatrenia a cestovné obmedzenia po prvej vlně COVID-19, niektoré letecké spoločnosti začali rozmýšľať nad zavedením odstupov medzi pasažiermi. Stredné sedadlá mali byť zablokované, čo vytváralo určitú vzdialenosť medzi cestujúcimi počas letu. Bolo to pre takmer všetky letecké spoločnosti finančne nerealizovateľné, keďže by museli zvýšiť ceny leteniek aby kompenzovali neobsadené sedadlá.

2.4.2. Obmedzenie palubnej obsluhy

Niektoré letecké spoločnosti úplne zrušili in flight služby (palubný servis) aby tak obmedzili kontakt leteckej posádky a pasažierov. Vo väčšina prípadov leteckých spoločností palubnú obsluhu ponechali aj keď so zmenami. Zmeny závisia od rôznych faktorov ako dĺžka letu, typ leteckej spoločnosti, ktorá let prevádzkuje alebo trieda, v ktorej sa pasažier nachádza.

2.4.3. Zvýšenie hygieny na palube lietadla

Keďže sa vírus šíri aj povrchovým kontaktom, letecké spoločnosti začali svoje lietadlá dôkladne čistiť a dezinfikovať. Taktiež bolo povinné pre pasažierov mať na tvári ochranné prostriedky počas celého letu, na dlhších letoch je nutné si po určitom čase vymeniť ochranné prostriedky na tvári za nové.

2.5. Časová os pandémie COVID-19

2019	2020	2021
8. december	Prvý potvrdený človek nakazený koronavírusom	
13. január	Prvý potvrdený prípad mimo Číny	11. január Prvé úmrtie na vírus
Január-február	Letecké spoločnosti rušia letecké linky na čínsku pevninu	23. január Wuhan v tvrdom lockdowne
14. február	Prvé úmrtie v Európe	11. február Vznikol názov Covid-19
6. marec	Prvý potvrdený prípad na Slovensku	25. február Cestujúci vracajúci sa z Talianska na Slovensko musia vyplniť formulár
11. marec	Vyhlasenie COVID-19 ako pandémie, zákaz vstupu cestujúcich z Európy na územie USA	9. marec Lety zo Slovenska do Talianska a z neho sú zrušené
17. marec	Zatvárajú sa vonkajšie hranice Európskej únie	13. marec Zatvárajú sa medzinárodné letiská na území Slovenska, Európa novým epicentrom vírusu
4. apríla	Počet nakazených celosvetovo presahuje 1 milión	24. marec Na Slovensku sa zavádza povinnosť nosenia rúšok na verejnosti
júl - august	Nárast cestujúcich na vnútroeurópske letecké linky	30. jún Situácia sa v Európe zlepšuje a otvárajú sa hranice pre vybrané krajiny
11. september	Ruská federácia zaregistruje prvú vakcínu proti koronavírusu, Sputnik V, začínajú aj ako prví očkovať	11. august Bývalý minister zdravotníctva SR, Marek Krajčí oznámi príchod druhej vlny pandémie
18. október	Bývalý premiér SR, Igor Matovič, ohlásil celoplošné testovanie	28. september Počet úmrtí celosvetovo presahuje 1 milión
8. december	Vo veľkej Británii je objavená infekčnejšia mutácia koronavírusu	31. október – 1. november Na Slovensku prebieha celoplošné testovanie, viaceré európskych krajín znovu zavádza lockdown
22. december	Zákaz priletov lietadiel z veľkej Británie na Slovensko na 72 hodín	21. december Vakcinácia spoločnosti Pfizer/BioNTech sa stala prvou schválenou Európskou úniou
4. január	Britská mutácia objavená na Slovensku	26. december Na Slovensku sa začína očkovanie
6. marec	Rok od prvého prípadu na Slovensku	1. marec Bývalý premiér SR, Igor Matovič, nakúpil ešte Európskou úniou neregistrovanú ruskú vakcínu, Sputnik V

3. Opatrenia a metódy navrhované na zmiernenie dopadov koronakrízy

Pandémia COVID-19 prišla nečakane, a civilné letectvo nebolo na takú udalosť pripravené. Aby letecké spoločnosti mali šancu prežiť túto krízu a ďalej vykonávať svoje činnosti, museli spraviť rôzne opatrenia.

3.1. Prevádzkový stav a adaptácia flotíl leteckých spoločností

Proces postupného vyradovania, starších alebo väčších lietadiel, ako Airbus A380, sa zrýchlil. Keďže tento typ lietadla je štvormotorový, je finančne náročnejší na údržbu a je menej efektívny, čo sa týka spotreby paliva oproti dvojmotorovým lietadlám, hlavne ak sa jedná o moderné turbínové motory. Ďalším dôvodom je, že tento typ lietadla mal ziskovosť z biznis a prvej triedy, a tieto triedy leteckej prepravy zažili počas pandémie ešte väčší pokles v dopyte ako ostatné. Posledným, a asi rozhodujúcim dôvodom bol fakt, že tieto lietadlá sú príliš veľké. Airbus A380 ma priemernú konfiguráciu 500 sedadiel, je ziskový ak je plne obsadený, ale ak nie je, nastáva problém. Nie je veľa leteckých trás, ktoré by mali takú obsadenosť po celý rok. Letecké spoločnosti začínali teda lietať s menšími lietadlami, ale s väčšou zárukou, že budú plné [6]. Štvormotorové lietadlá však nie sú jediné, ktorým sa urýchlilo vyradovanie počas pandémie. Vyradované boli aj staršie dvojmotorové lietadlá. Ide hlavne o staršie typy lietadiel, ktoré sú taktiež drahšie na údržbu a prevádzku ako novšie typy lietadiel, ktorými budú nahradené. Taktiež začali letecké spoločnosti rušiť alebo odkladať svoje objednávky lietadiel u výrobcov, keďže očakávajú, že návrat civilnej prepravy k predpandemickým číslam môže trvať až niekoľko rokov.

3.2. Štátna podpora leteckým spoločnostiam počas pandémie

Mnoho krajín sveta si uvedomuje význam leteckého priemyslu v ich národnej ekonomike. Aby letecký priemysel mohol naďalej plniť svoju úlohu pri stimulovaní národnej ekonomiky a podpore zamestnanosti, začali sa poskytovať priemyslu rôzne formy štátnej podpory. Štátna finančná podpora môže byť poskytovaná leteckým spoločnostiam priamo alebo nepriamo, aby mohli pokračovať v podnikaní [19]. Tieto spomenuté formy štátnej finančnej podpory boli poskytované ako vládne podiely, vládne pôžičky a záruky za pôžičky, kapitálové injekcie ako granty, financovanie reštrukturalizácie, úľava od daní a poplatkov súvisiacich s leteckou dopravou, prevádzkové dotácie alebo granty pre konkrétne letecké trasy, mzdové dotácie alebo záruky a integrovaný balík finančnej podpory.

Tieto spomenuté formy štátnej finančnej podpory boli poskytované ako vládne podiely, vládne pôžičky a záruky za pôžičky, kapitálové injekcie ako granty, financovanie reštrukturalizácie, úľava od daní a poplatkov súvisiacich s leteckou dopravou, prevádzkové dotácie alebo granty pre konkrétne letecké trasy, mzdové dotácie alebo záruky a integrovaný balík finančnej podpory.

3.2.1. Vládne podiely

Vládne podiely sú také, kde vláda prevezme vlastnícky podiel upísaním nových akcií alebo nákupom akcií v spoločnosti v očakávaní budúcich výnosov prostredníctvom dividend a/alebo

kapitálových výnosov. Kapitálová injekcia poskytnutá vládou prostredníctvom investícií do vlastného imania môže poskytnúť cieľovým leteckým spoločnostiam prostriedky na udržanie podnikania, a tým na zníženie rizika platobnej neschopnosti. Napríklad výmenou za štátnu pomoc vo výške 9 miliárd eur, popri podmienkach, kedy sa zaviazu k zníženiu emisií, kde ako príklad môžeme uviesť spoločnosť Lufthansa, kde Nemecká vláda získala 20% tný podiel v spoločnosti.

3.2.2. Vládne pôžičky a záruky za pôžičky

Vládne pôžičky poskytujú spoločnostiam výhodnejšie podmienky ako by mohli získať, keby si požičiavali sami. Pre dlžníka môžu byť taktiež výhodné splátkové kalendáre. Záruky za vládne pôžičky odstraňuje riziko zlyhania veriteľa tým, že sa celé prenesú na vládu, čo umožňuje dlžníkovi získať pôžičku s oveľa výhodnejšou úrokovou sadzbou. Napríklad Holandská vláda schválila žiadosť o štátnu podporu národného dopravcovi KLM vo výške 3,4 miliárd eur, za podmienky zníženia emisie o 50% na jeden osobokilometer na medzinárodných leteckých linkách a zníženie svojich celkových nákladov o 15%. Partner KLM a národný prepravca Francúzska, Air France, za pôžičku od Francúzskej vlády vo výške 7 miliárd eur taktiež dostal zelené podmienky, a to zníženie emisií na vnútroštátnych linkách o polovicu a prehodnotenie leteckých liniek, ktoré sú dostupné vlakom do 2,5 hodín. Oba finančné balíčky pozostávali z vládnej záruky za pôžičky.

3.2.3. Kapitálové injekcie ako granty

Granty sú priame finančné prostriedky poskytované vládou na podporu kritických sektorov, podnikov, projektov alebo programov vo verejnom záujme. Priama kapitálová injekcia vlády ako granty by mohli stabilizovať finančnú situáciu cieľových leteckých spoločností, kompenzovať vzniknuté škody a zabezpečiť zachovanie ich prevádzky. Letecká spoločnosť, ktorá je príjmom tohto grantu, ho vo väčšine prípadov nemusí splácať. Očakáva sa však, že granty použije na presne stanovený účel a za prísnych podmienok. Napríklad v decembri 2020 schválila Európska komisia priamy chorvátsky grant pre leteckú spoločnosť Croatia Airlines, v ktorej vláda vlastní viac ako 97% podiel. Cieľom tohto opatrenia je nahradiť straty leteckej spoločnosti, ktoré utrpeli v dôsledku pandémie COVID-19.

3.2.4. Financovanie reštrukturalizácie

Vlády môžu použiť finančné prostriedky na financovanie reštrukturalizácie alebo transformácie spoločnosti v leteckej doprave postihnutých dlhom, alebo tieto spoločnosti aj prevziať. Napríklad už spomenutý Juhoafrický národný prepravca South African Airways. Juhoafrická vláda v Máji 2020 oznámila, že South African Airways ukončí svoju prevádzku, v októbri 2020 oznámila svoj záväzok na poskytnutie finančnej podpory na dokončenie plánu reštrukturalizácie tejto leteckej spoločnosti.

3.2.5. Úľava od daní a poplatkov súvisiacich s leteckou dopravou

Vlády môžu zväziť poskytnutie úľavy od daní, poplatkov zameraných vládou konkrétne na letecký priemysel, ako aj úľavu koncesných poplatkov pre letiská. Zníženie alebo odklad daní a poplatkov v tejto oblasti by mohol poskytnúť okamžitú úsporu

nákladov spoločnosti. Patria sem napríklad daň z letenky pre cestujúcich, daň za letecký benzín. Napríklad súčasťou balíka zákona CARES (Coronavirus Aid, Relief and Economic Security Act) bolo odpustenie dane leteckým spoločnostiam za letecký benzín počas roka 2020.

3.2.6. *Prevádzkové dotácie alebo granty pre konkrétne letecké trasy*

Lectvo poskytuje spojenia so vzdialenými alebo izolovanými oblasťami a ostrovmi, ktoré sú dôležité pre fungovanie spoločnosti. Na udržanie takých spojení je možné použiť dotácie na prevádzku alebo granty špecifické pre jednotlivé trasy, najmä pre trasy, kde nie je k dispozícii náhradná doprava, resp. alternatívny druh dopravy. Aj keď sa kritériá v jednotlivých krajinách líšia, tieto dotácie sú všeobecne poskytované na základe príslušnej trate, a nemali by zvýhodňovať jednu leteckú spoločnosť alebo letisko pred inými. Napríklad vláda Austrálie vyhlásila v marci 2020 „program na podporu regionálnych sietí leteckých spoločností“ ako súčasť reakcie vlády na krízu COVID-19. Cieľom tohto programu bolo zabezpečiť kritické letecké služby pre prepojenie viac ako 100 regionálnych a odľahlých letísk s nákladom, lekáorskými potrebami a základným personálom podľa konkrétnych grantových kritérií. V rámci tohto programu sa domácim regionálnym leteckým spoločnostiam poskytovalo financovanie na udržanie minimálneho týždenného harmonogramu na regionálnych a odľahlých letiskách. V júni 2020 vláda oznámila predĺženie tohto programu o ďalšie tri mesiace, a to do 31. decembra 2020.

3.2.7. *Mzdové dotácie alebo záruky*

Mzdové dotácie sa zameriavajú na ochranu pracovných miest a na prevenciu pred stratou pracovných miest, kde to je možné. Mnoho krajín zaviedlo programy dotovanie miezd, aby pomohli všetkým podnikom vyrovnat sa s pandémiou COVID-19, niektoré z nich taktiež oznámili konkrétne návrhy pre letecký priemysel. Napríklad v apríli 2020 vláda Kanady predstavila program núdzovej dotácie miezd v Kanade (Canada Emergency Wage Subsidy), ktorý má zamestnávateľov povzbudiť k tomu, aby zamestnancov neprepustili. Podľa pôvodného programu vláda vyplatila oprávneným zamestnávateľom až 75% miezd, zamestnávateľ však zostal zodpovedný za dôchodky a ďalšie sociálne dávky. V júli 2020 vláda tento program prepracovala tak, aby umožnil viacerým zamestnávateľom prístup k podpore mzdových dotácií a zabezpečil, aby podpora bola lepšie zameraná na ich potreby. Letecká spoločnosť Air Canada bola jedným z najväčších príjemcov tejto podpory, ktorá pomohla leteckej spoločnosti znížiť svoje mzdové výdavky o viac ako 40%. Celková hrubá dotácia prijatá leteckou spoločnosťou Air Canada bola 492 miliónov kanadských dolárov za prvých 9 mesiacov roku 2020. Avšak napriek tomu sa letecká spoločnosť rozhodla v júni 2020 znížiť počet svojich zamestnancov o polovicu, z dôvodu očakávaného pomalého oživenia svojej činnosti v blízkej budúcnosti.

3.2.8. *Integrovaný balík finančnej podpory*

Rozsah dopadu pandémie si môže vyžadovať vykonávanie viacerých opatrení súčasne. Napríklad v USA 27. marca 2020 vznikol už spomenutý zákon CARES (Coronavirus Aid, Relief and Economic Security Act), rozsiahly balík federálnych opatrení na podporu ekonomiky vo výške 2,2 trilión amerických dolárov.

Súčasťou tohto balíka boli aj granty a pôžičky pre oblasti leteckého priemyslu. Pre oblasti leteckého priemyslu zamerané na civilné letectvo boli tieto granty a pôžičky vo výške 25 miliárd amerických dolárov, granty a pôžičky vo výške 32 miliárd amerických dolárov pre letecké spoločnosti, ktoré súhlasili neznížiť mzdy a výhody svojich zamestnancov, a ktoré nebudú nedobrovoľne prepúšťať svojich zamestnancov, pre oblasti leteckého priemyslu zamerané na nákladnú dopravu boli granty a pôžičky vo výške 4 miliárd amerických dolárov [7]. V Európskej únii vznikol plán obnovy pre Európu, takzvaný Next Generation EU, vo výške 750 miliárd eur, ktorý má za úlohu podporovať najviac postihnuté ekonomické oblasti, vrátane leteckého priemyslu. Jedným z cieľov tohto plánu, je využiť túto krízu na to, aby európsky letecký priemysel vyšiel z neho zelenší, modernejší a odolnejší [8].

Bola však aj kritika na štátne podpory a to zo strany nízkonákladových leteckých spoločností. Ryanair tvrdí, že štátna podpora vytvára nespravodlivú výhodu leteckým spoločnostiam, ktoré ich dostali. Generálny riaditeľ Ryanair, Michael O'Leary o štátnej podpore pre Lufthansu povedal že: „Lufthansa je závislá od štátnej pomoci. Vždy, keď nastane kríza, prvým reflexom Lufthansy je vložiť ruku do vrecka nemeckej vlády. Deje sa tak aj napriek tomu, že väčšina ostatných leteckých spoločností EÚ môže prežiť iba z vlastných zdrojov“. Ďalšia kritika bola aj zo strany environmentálnych skupín, ktoré vyzvali vládu na uplatnenie ďalších environmentálnych podmienok pri poskytovaní štátnej podpory. Väčšia časť štátnej podpory určená leteckému priemyslu išla leteckým spoločnostiam, lebo sú dôležité na dostupnosť, ekonomický vývoj a preto, že sú náchylnejšie na krízy tohto typu.

3.3. *Konverzia osobných lietadiel na nákladné*

Kvôli veľkému počtu zrušených civilných letov sa neprepravovalo ani veľké množstvo nákladu, keďže boli letmi v osobnej leteckej preprave prepravované v nákladových priestoroch lietadiel. Uzemnené lietadlá boli teda potrebné na prepravu nákladu. Letecké spoločnosti tak začali prepravovať náklad v kabíne lietadiel pre osobnú leteckú dopravu, či už na sedadlách alebo odstránením týchto sedadiel. Tieto úpravy umožnili aktualizované usmernenia EASA a ďalších orgánov s cieľom oslobodiť letecké spoločnosti od bežných limitov prepravy kritického nákladu v kabínach lietadiel počas tejto krízy. Výrobcovia lietadiel, ako Boeing a Airbus, zverejnili konkrétne pokyny na konverziu svojich lietadiel na dočasne nákladné [9].

3.4. *Upustenie pravidla prevádzkových intervalov*

Mnohé letecké spoločnosti boli vplyvom pandémie nútené uzemniť väčšinu svojich lietadiel. Toto malo za následok problém pre letecké spoločnosti dodržať pravidlá prideľovania prevádzkových intervalov, hlavne pravidlá takzvané „use it or lose it“, ktoré hovoria o tom, že letecká spoločnosť musí použiť aspoň 80% svojich pridelených prevádzkových intervalov za letnú a zimnú sezónu, inak jej hrozí strata týchto prevádzkových intervalov. Niektoré letecké spoločnosti začali prevádzkovať takzvané „ghost flights“, lety s veľmi nízkym počtom cestujúcich, alebo bez cestujúcich na palube lietadla s cieľom udržať pridelené prevádzkové intervaly. Aby k takým letom už ďalej nedochádzalo sa od tohto pravidla v marci 2020 dočasne toto pravidlo upustilo. V októbri 2020 prijala Európska komisia rozhodnutie o predĺžení upustenia od tohto pravidla do

marca 2021. V USA sa upustenie tohto pravidla predžilo až do októbra tohto roku (2021).

3.5. Zmena priorit letov

Po otvorení hraníc a zmiernení cestovných obmedzení dopyt po cestovaní za účelom rekreácie rýchlo stúpal, to sa však nedá hovoriť o cestovaní za účelom služobnej cesty, po ktorej dopyt ledva stúpol, keďže firmy sú stále zatvorené a konferencie sú zrušené. Pre letecké spoločnosti už nebolo ziskové lietať na trasách, kde ľudia cestovali kvôli práci. Začali preto znižovať frekvenciu týchto trás a zvyšovať ich na letecké trasy, ktoré boli viac ziskové, teda trasy na ktoré cestovali ľudia za účelom rekreácie. Taktiež začali letecké spoločnosti ohlasovať nové letecké trasy pár týždňov pred prvým letom do dovolenkových destinácií, čo sa stáva v letectve veľmi zriedkavo, keďže nové trasy zvyčajne letecké spoločnosti oznámia pár mesiacov alebo rokov dopredu. Dôvodom takýchto náhlych zmien boli neustále zmeny v opatreniach, cestovných obmedzeniach a zatváraní hraníc krajín, ktoré robili pre letecké spoločnosti problém odhadnúť dopyt po ich službách. Preto, ak vidia zmiernenie opatrení a cestovných obmedzení medzi miestom odletu a danou destináciou, po ktorom je veľký dopyt, letecké spoločnosti neváhajú a čo najrýchlejšie oznámia novú linku.

4. Charakter právnych opatrení v oblasti civilného letectva v EÚ

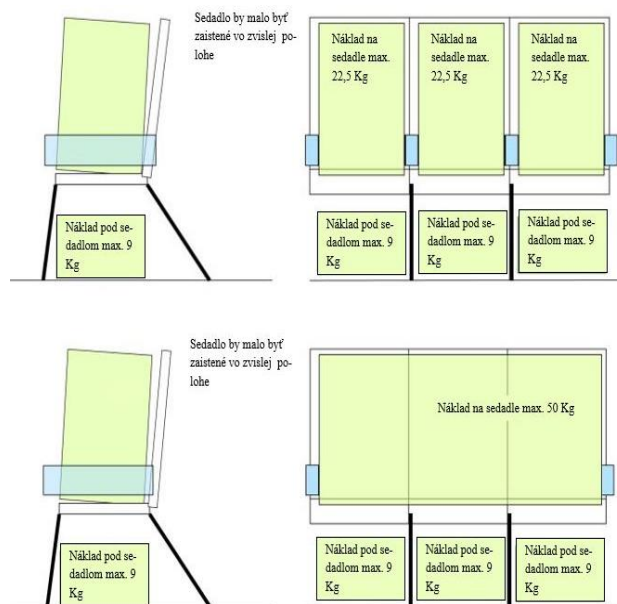
4.1. Práva cestujúcich

Pandémia výrazne zasiahla nielen letecké spoločnosti ale aj mnoho cestujúcich, ktorým sa zrušili lety alebo ktorí sa obávali alebo nemohli cestovať do určitých krajín alebo regiónov. Práva cestujúcich v leteckej doprave v Európskej únii sú stanovené v nariadení 261/2004, ktoré im dáva práva v prípade zrušenia letu, a to právo na preplatenie (v peniazoch alebo vo forme poukážky) alebo presmerovanie trasy. V máji 2020 viacero krajín Európskej únie vyzvalo Európsku Komisiu, aby pozastavila reguláciu práv. Chceli, aby letecké spoločnosti mohli ako hlavnú formu odškodnenia cestujúcich ponúknuť poukážky. Európska Komisia sa rozhodla nepozastaviť reguláciu práv a namiesto toho vyzvala spoločnosti, aby možnosť poukážky čo najviac zatraktívili pre cestujúcich. Niektoré letecké spoločnosti však tlačili na cestujúcich, aby prijali poukážky alebo ich neinformovali o možnosti výberu. Okrem toho niekoľko krajín Európskej únie prijalo legislatívu oprávňujúcu letecké spoločnosti ponúkať poukážky ako jedinú formu odškodnenia [10]. 2. júla 2020 Európska Komisia oznámila, že začne konanie o nesplnení povinnosti proti desiatim členským štátom Európskej únie, ktoré porušujú pravidlá týkajúce sa práv cestujúcich, medzi nimi aj Slovensko.

4.2. Preprava nákladu v kabínach cestujúcich

Na prepravu nákladu v kabínach civilných lietadiel, musia autorské organizácie uplatňovať a dostávať od EASA časovo obmedzené schválenia letovej spôsobilosti lietadla, keďže dizajn kabíny pre cestujúcich nespĺňa žiadnu z definícií triedy nákladného priestoru, ktoré sú popísané v CS-25. Dôvodom týchto návrhov na schválenie bolo vytvorenie dostatočnej flexibility pri zabezpečení primeranej kontroly z hľadiska certifikácie lietadla. EASA preto 26. októbra 2020 zverejnila odchýlku od CS25.855 týkajúcu sa „prepravy nákladu v

oddeleniach pre cestujúcich“, ktorá poskytuje štandardný prístup ku konštrukčným zmenám, ktoré umožňujú prepravu nákladu v kabínach civilných lietadiel. Členské štáty Európskej únie môžu rozhodnúť o prijatí prevádzky lietadiel s neschválenými konštrukčnými úpravami vydaním výnimiek podľa článku 71 Nariadenia EÚ 2018/1139. EASA taktiež zverejnila usmernenie pre prepravu nákladu v kabíne civilných lietadiel podľa ustanovení článku 71 ods. 1 Nariadenia EÚ 2018/1139 [11]. Predtým, ako sa lietadlo znovu použije na prepravu cestujúcich, musí prevádzkovateľ zabezpečiť návrat kabíny späť do konfigurácie certifikovanej na prepravu cestujúcich. Ak si želá prevádzkovateľ, aby tieto zmeny ostali na trvalo, je potrebný súhlas so zmenami návrhu od EASA.



Obrázok 3 Príklad uloženia nákladu na sedadlách podľa EASA. Zdroj: [12].

4.3. Výcvik letovej posádky

Obmedzenia spojené s pandémiou COVID-19 spôsobilo zatvorenie výcvikových stredísk a tým aj zamedzenie leteckým spoločnostiam dodržať požiadavky pravidelného výcviku a preskúšania letovej posádky. Veľký počet európskych organizácií, ktoré poskytujú a vykonávajú letecký výcvik začali presuvať teoretickú výučbu do virtuálneho prostredia aby umožnili pokračovanie plánovaného výcviku, keďže neboli schopní trénovať svoju posádku tradičnou „face to face“ formou. EASA preto v auguste 2020 zverejnila návod na povolenie výučby vo virtuálnej učebni a distančného vzdelávania [13]. Návod obsahuje aj inštrukcie na presun výučby do virtuálneho prostredia pre študentov a organizácie, ktoré letecký výcvik poskytujú a vykonávajú, ako napríklad potrebné vybavenia a pomôcky na distančnú výučbu, ktoré umožnia inštruktorovi dosiahnuť rovnakého cieľa odbornej prípravy a kvality výučby ako pri výučbe formou „face to face“. Zatiaľ čo priebeh teoretického výcviku je možné dosiahnuť týmto distančným spôsobom, horší dopad mala pandémia na praktický výcvik, ktorý bol v niektorých prípadoch pozastavený, resp. nesmel sa vykonávať. Členské štáty Európskej únie začali na začiatku pandémie udeľovať výnimky z platných ustanovení o výcviku posádky použitím článku 71 ods. 1 nariadenia EÚ 2018/1139. Tieto výnimky umožnili leteckým spoločnostiam obchodnej leteckej prepravy odchýliť sa od požiadaviek na

výcvik a preskúšania letovej posádky po dobu až ôsmich mesiacov, čo je maximálna doba povolená podľa jednoduchého postupu výnimky podľa článku 71 ods. 1 nariadenia EÚ 2018/1139. Tieto výnimky by nemali byť udelené pre už spomenutú teoretickú výučbu výcvikových programov, keďže sú dostupné mnohé rôzne alternatívne metódy tohto výcviku. EASA však neodporúča predĺžiť platnosť licencie odbornej spôsobilosti, lekárskeho osvedčenia a teoretického opakovacieho výcviku a preskúšania pre každého jednotlivého pilota o viac ako osem mesiacov.

5. Prístup k zmierneniu dopadov koronakrízy na civilné letectvo v podmienkach SR

Pandémia a následky spojené s ňou neobišli ani naše územie. Ako v iných častiach sveta, tak aj na území SR sa zaviedli opatrenia na zmiernenie týchto následkov spôsobené pandémiou.

5.1. Štátna pomoc letiskám

V decembri 2020 Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky predstavilo Európskej Komisii Schému štátnej pomoci na podporu a zabezpečenia nevyhnutnej leteckej dostupnosti územia Slovenskej republiky počas krízovej situácie vyhlásenej v súvislosti s pandémiou COVID-19 podľa článku 107 ods. 2 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie a článku 107 ods. 3 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie, ktorých predmetom je poskytovanie štátnej pomoci formou príspevku na úhradu oprávnených nákladov alebo refundáciu výdavkov, ktoré súvisia so zabezpečením nevyhnutnej leteckej dostupnosti územia Slovenskej republiky počas súčasnej krízy. Príjemcom štátnej pomoci podľa článku 107 ods. 2 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie je letisková spoločnosť, ktorá v roku 2019 odbavila viac ako 200 000 cestujúcich. Podľa článku 107 ods. 3 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie je príjemcom štátnej pomoci letisková spoločnosť, ktorá okrem splnenia podmienok bodu 5.5 zo schémy štátnej pomoci (bod, v ktorom sú vypísané podmienky, ktoré musí žiadateľ štátnej pomoci splniť. Napríklad žiadateľ nežiada alebo nečerpá finančné prostriedky Európskej únie alebo iné finančné prostriedky aj od iného orgánu verejnej správy a nie je v likvidácii), zaznamenala počas oprávneného obdobia (od 1. júla 2020 do 30. júna 2021 alebo jeho časti v súlade s účelom štátnej pomoci, ak letisková spoločnosť odbavila v roku 2019 viac ako 200 000 cestujúcich, alebo od 13. marca 2020 do 30. júna 2021 alebo jeho časť v súlade s účelom štátnej pomoci, ak letisková spoločnosť odbavila v roku 2019 menej ako 200 000 cestujúcich) pokles obratu minimálne o 30% v porovnaní s rovnakým obdobím v roku 2019. Platnosť schémy štátnej pomoci je od 15. januára 2021 do 30. júna 2021 [14] [15]. Európska komisia v decembri 2020 túto schému schválila vo výške 29,8 milióna EUR v podobe priamych grantov.

5.2. Udelenie výnimiek

Dopravný úrad udelil v dôsledku hrozby šírenia sa vírusu na našom území výnimku držiteľom preukazov spôsobilosti, osvedčení, kvalifikačných kategórií, doložiek schválení, a potvrdení vydaných Dopravným úradom, vrátane žiadateľov o ich vydanie a obnovu. Tieto výnimky Dopravný úrad udelil s cieľom zachovať funkčnosť systému leteckej dopravy v Slovenskej republike počas súčasnej krízy [16] [17]. Taktiež dňa 25. apríla 2020 nadobudol účinnosť zákon č. 90/2020 Z. z.,

ktorým sa doplnili niektoré zákony v pôsobnosti Ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky v súvislosti s pandémiou. Tento zákon novelizoval aj zákon č. 143/1998 Z. z. Novela zákona č. 143/1998 Z. z. v znení zákona č. 90/2020 Z. z. vzhľadom na aktuálnu situáciu umožňuje orgánom štátnej správy v civilnom letectve pristúpiť k obmedzeniu podávania žiadostí o prijímanie žiadostí o schválenie, vydanie alebo udelenie dokladov [18].

6. Záver

COVID-19 bol prvýkrát zaznamenaný v decembri 2019 v čínskom meste Wuhan u pacientov so závažným respiračným ochorením a od vtedy sa týmto ochorením nakazili milióny ľudí a aj mu podľahli milióny ľudí. Pandémia COVID-19 nie je len kríza v oblasti zdravia človeka, ale aj ekonomická a sociálna kríza a civilné letectvo bola jedným z najviac zasiahnutých sektorov. Prudký pokles v dopyte po leteckej preprave dôsledkom spomenutých opatrení, spôsobil pre letecký priemysel, že čelí výzvam v súvislosti s kontinuitou ich podnikania a ich prežitím a taktiež ohrozuje milióny pracovných miest závislých na tomto priemysle.

Ako už bolo spomenuté, cieľom tohto článku bolo vytvoriť stručný prehľad pre čitateľov o dopade koronakrízy na stav civilného letectva vo svete a na Slovensku, oboznámiť čitateľov o opatreniach zavedených v snahe zmierniť tento dopad po celom svete, v EÚ a v podmienkach Slovenskej republiky. Koronakríza zanechala na civilnom letectve veľkú stopu. Snažili sme sa poukázať na zmeny v civilnom letectve spôsobené koronakrízou a ako spoločnosti v oblasti civilného letectva na tieto zmeny zareagovali.

Prvá kapitola bola zameraná na dopad koronakrízy na stav civilného letectva, kde sme zistili aký vážny tento dopad bol celosvetovo a na Slovensku a aké zmeny kvôli nemu nastali. Aj keď väčšina týchto zmien letecké spoločnosti zaviedli iba dočasne, pomohli k tomu, aby aspoň čiastočne mohli pokračovať vo svojej prevádzke. V druhej kapitole sme analyzovali niektoré zavedené opatrenia v snahe znížiť dopad koronakrízy na civilné letectvo. Tam bolo zistené, že bez štátnej podpory, či už priamej alebo nepriamej, by veľa leteckých spoločností túto krízu neprežilo, a že táto kríza donútila letecké spoločnosti premýšľať o budúcnosti svojich flotíl. V tretej kapitole sme analyzovali právny charakter niektorých opatrení zavedených v oblasti civilného letectva v Európskej únii. Zistili sme, že EASA vydala aktualizované usmernenia na prepravu nákladu v kabínach lietadiel s cieľom oslobodiť letecké spoločnosti od bežných limitov prepravy kritického nákladu v kabínach lietadiel počas tejto krízy, a že niektoré letecké spoločnosti porušili práva pre cestujúcich v leteckej doprave v Európskej únii tým, že namiesto odškodnenia v peniazoch núkali poškodeným cestujúcim iba poukážky. V štvrtnej a poslednej kapitole sme analyzovali prístup k zmierneniu dopadu koronakrízy na civilné letectvo v podmienkach SR. Poukázali sme na schému štátnej pomoci ministerstva dopravy a výstavby Slovenskej republiky na podporu a zabezpečenia nevyhnutnej leteckej dostupnosti územia Slovenskej republiky počas krízovej situácie vyhlásenej v súvislosti s pandémiou COVID-19, ktorú Európska komisia schválila.

Pandémia COVID-19 stále prebieha a stále má dopad na civilné letectvo. Svetlo na konci tunela sa však podľa leteckých

spoločnosti pomaly blíži a to vďaka vakcínam, ktorými sa začalo očkovanie potenciálnych cestujúcim na konci minulého roka.

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] Sehl, K.: How the Airline industry survived SARS, 9/11, the global recession and more. APEX experience magazine June/July, 2020, s. 38 – 43.
- [2] UKEssays. Global Financial Crisis: Aviation Industry Impact, 2018. Dostupne na: <https://www.ukessays.com/essays/economics/impact-of-global-financial-crisis-on-the-aviation-industry-economics-essay.php>
- [3] Macášková, E. – Panáková L.: Dopad hospodárskej krízy na leteckú dopravu, 2010
- [4] [5] ICAO: Effects of Novel Coronavirus (COVID-19) on Civil Aviation: Economic Impact Analysis, 2020. Dostupné na: https://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO_Coronavirus_Econ_Impact.pdf
- [6] Slutsken, H.: Too Big to Succeed: Why the Airbus A380 Is Dead, 2020. Dostupne na: <https://thepointsguy.com/news/too-big-to-succeed-why-the-airbus-a380-is-dead/>
- [7] Elias, B.: Addressing COVID-19 Pandemic Impacts on Civil Aviation Operations, Con-gressional Research Service, 2020, s. 12 – 13.
- [8] Hololei, H.: The crisis is also an opportunity for rebuilding Europe's aviation system, 2020. Dostupne na: <https://www.eurocontrol.int/article/crisis-also-opportunity-rebuilding-europes-aviation-system>
- [9] ICAO: Repurposing Aircraft Passenger Cabins for Transport of Cargo, 2020. Dostupne na: <https://www.icao.int/safety/OPS/OPS-Normal/Pages/Airworthiness%20TCPC.aspx>
- [10] Niestadt, M.: Air transport survival during the pandemic, European parliament, 2020, s. 7. Dostupne na: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659326/EPRS_BRI\(2020\)659326_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2020/659326/EPRS_BRI(2020)659326_EN.pdf)
- [11] [12] Ottomaniello, A. – Ohnimus, Th.: Transport of cargo in passenger compartment – exemptions under article 71(1) of Regulation (EU) 2018/1139 (the basic Regulation). EASA, 2020. Dostupne na: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/guidelines_for_the_transport_of_cargo_in_passenger_aircraft_easa_issue-5.1.pdf
- [13] EASA: Guidance for allowing virtual classroom instruction and distance learning, 2020. Dostupne na: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/easa_guidelines_-_virtual_classroom_instruction_and_distance_learning_i_s.pdf
- [14] Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky: Schéma štátnej pomoci podľa čl. 107 ods. 2 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie na podporu zabezpečenia nevyhnutnej leteckej dostupnosti územia Slovenskej republiky počas krízovej situácie vyhlásenej v súvislosti s ochorením COVID-19, 2020. Dostupne na: https://www.mindop.sk/uploads/extfilesnew/doprava/letecka/statna%20pomoc/SCH_%C4%8DI.%20107-2-b%20ZFE%C3%9A_leteck%C3%A1%20dostupnos%C5%A5%20SR.pdf
- [15] Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky: Schéma štátnej pomoci podľa čl. 107 ods. 3 písm. b) Zmluvy o fungovaní Európskej únie na podporu zabezpečenia nevyhnutnej leteckej dostupnosti územia Slovenskej republiky počas krízovej situácie vyhlásenej v súvislosti s ochorením COVID-19, 2020. Dostupne na: https://www.mindop.sk/uploads/extfilesnew/doprava/letecka/statna%20pomoc/SCH_DR-3.1%20a%203.12_leteck%C3%A1%20dostupnos%C5%A5%20SR.pdf
- [16] Dopravný úrad: Udelenie výnimky, 2020. Dostupne na: http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2020/05/V%C3%BDnimka_PBN_signed.pdf
- [17] Dopravný úrad: Udelenie výnimky, 2021. Dostupne na: http://letectvo.nsat.sk/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/V%C3%BDnimka_COVID_2021_FCL025_06.4.2021.pdf
- [18] Ministerstvo dopravy a výstavby Slovenskej republiky: Novela zákona č. 143/1998 Z. z. o civilnom letectve (letecký zákon) a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov v súvislosti s prenosným ochorením COVID-19, 2020. Dostupne na: <https://www.mindop.sk/ministerstvo-1/doprava-3/civilne-letectvo-24/novela-leteckeho-zakona-COVID-19>
- [19] 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.

INVESTIGATION OF AIR ACCIDENTS AND THEIR BENEFITS FOR SAFETY IN CR AND SR

VYŠETROVANIE LETECKÝCH NEHÔD A ICH PRÍNOS PRE BEZPEČNOSŤ V OBLASTI ČR A SR

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

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

Abstract

The aim of this article is to focus on the facts in the field of air accidents and to analyse the current situation, which could help to address the shortcomings. Air transport has been evolving over the years, resulting in some reduction in the number of air accidents. In the first part, I analyse the current state of the topic, compare the data obtained and evaluate them, which gives me a better overview of the actual events. In the second part, I deal directly with the individual steps of the investigation and their sequence. In the following sections, I analyse selected accidents and then try to work out a proposal for a solution that could be beneficial for air safety.

Keywords

Air accidents. Investigation. Final reports. Travel safety. Air Transport. Aircraft.

1. Úvod

Kde je snaha o inováciu, tam dochádza k úspechu. Tieto úspechy z pravidla sprevádza množstvo neúspechov. Výnimkou nie je ani odvetvie leteckej dopravy, v ktorom má človek úsilie prekonať prírodné zákony a lietať. V prvopočiatoch bolo lietanie veľmi vzácné a postupom času si letecká doprava získala záujem ľudí tak, ako tomu je aj v dnešných dňoch. Stúpajúcou slávou leteckej dopravy samozrejme stúpal aj dopyt po nej. V každom odvetví, kde sa inovuje dochádza aj k nehodám ktoré je potrebné vyšetriť, zistiť príčinu nehody aby sa zabezpečilo, že sa rovnaká chyba už viac nevyskytla. Tak ako aj v automobilovej doprave, tak aj v leteckej doprave sa v prípade vzniku kolízie snažíme zistiť príčinu vzniku nehody, aby bolo zabezpečené, že sa rovnaká udalosť nebude opakovať. Viac k histórii vyšetrovania spomeniem v časti história vyšetrovania.

Z počiatku sa zameriam najmä na nehodovosť v letectve ako takom, kde bližšie priblížim riešenú problematiku, posúdim fakty ktoré boli zistené štatistickými údajmi, zameriam sa na príčiny vzniku incidentov a objasním príčiny pochybení vplyvom ľudského faktora, technickej závady alebo kombináciou viacerých vplyvov.

V úvodnej kapitole sa zameriam na fakty a podrobnosti ohľadom riešenej problematiky ktorou sa budem zaoberať. Vysvetlím, prečo dochádza k leteckým nehodám, aké sú ich časté dôvody a prečo sa tomu tak deje.

V ďalšej kapitole budem rozoberať súčasný stav letectva, spomeniem štatistiky nehodovosti, ich závažnosť a prínos pre bezpečnosť. Porovnam štatistiky so štatistikami z minulosti a zhodnotím, k akému pokroku došlo.

Obsah nasledujúcej kapitoly budem venovať najmä priebehu a rozboru vyšetrovania leteckých udalostí. Zistím aké kroky boli podniknuté počas vyšetrovania a priblížim ich význam.

2. Súčasný stav riešenej problematiky

Vyšetrovanie leteckých nehôd a leteckých udalostí má za úlohu znížiť riziko vzniku leteckej nehody alebo leteckej udalosti a zabrániť tomu, aby sa zopakovala rovnaká letecká nehoda či letecká udalosť v budúcnosti tým, že sú vydávané bezpečnostné odporúčania ktoré majú zabezpečiť adekvátne kroky, aby bola objasnená príčina vzniku leteckej nehody alebo leteckej udalosti odstránená. Je veľmi dôležité, aby bola skutočná príčina leteckej nehody či leteckej udalosti objasnená, nakoľko sa môže jednať napríklad o skrytú výrobnú závadu ktorou disponujú aj iné lietadlá a mohlo by dôjsť k priamemu ohrozeniu bezpečnosti alebo v krajnom prípade k vzniku rovnakej udalosti.

3. Rozbor vyšetrovacích postupov

3.1 Postup pri vyšetrovaní

3.1.1 Oznámenie

Prijatie oznámenia o udalosti predstavuje prvú fázu účasti vyšetrovacích orgánov na vyšetrovaní vzniknutej leteckej nehody alebo leteckej udalosti. Aj keď v prvom rade je potrebné zabezpečiť, ak si to situácia vyžaduje, výjazd záchranárskych zložiek na miesto udalosti v čo najkratšom možnom čase, už počas prvého oznámenia o leteckej nehode alebo leteckej udalosti je snaha získať čo možno najväčšie množstvo aktuálnych informácií od oznamovateľa. Získané informácie sú

následne potrebné pre klasifikáciu udalosti, z toho vyplývajúce povinnosti vyšetrovania a na určenie pravdepodobného rozsahu vyšetrovania. Veliteľ alebo prevádzkovateľ lietadla, ktoré sa zúčastnilo nahlásenej leteckej nehody alebo leteckej udalosti sú povinní upovedomiť mieste príslušný vyšetrovací orgán. Týka sa to nielen lietadiel civilnej dopravy ale taktiež aj lietadiel všeobecného letectva. Oznámenia môžu pochádzať aj z iných zdrojov ako je napríklad riadenie letovej prevádzky, polícia atď. [1]

Klasifikácia udalosti

Klasifikácia leteckej nehody alebo leteckej udalosti závisí vo veľkej miere od poškodenia letúna a zranení pasažierov na palube. Nehoda sa klasifikuje ako udalosť, pri ktorej bola buď osoba zúčastnená na vzniknutej udalosti smrteľne alebo vážne zranená, lietadlo utrpelo vážne mechanické poškodenie alebo zlyhanie konštrukcie ktoré zásadne ovplyvňuje pevnosť, výkon alebo letové vlastnosti letúna.

Incident sa klasifikuje ako iná letecká udalosť ako nehoda, ktorá ovplyvňuje alebo by mohla mať vplyv na bezpečnosť prevádzky lietadla. Medzi prípady závažných udalostí patrí aj prípad, kedy lietadlo preletí alebo zide z VPD. [1]

Rozhodnutie o vyšetrovaní

Nariadením (EÚ) č.996/2010 sa od každého orgánu EÚ zameraného na bezpečnostné vyšetrovanie vyžaduje, aby vyšetril každú leteckú nehodu alebo leteckú udalosť, ku ktorým dôjde na jeho území a do ktorých sú zapojené lietadlá iné ako tie, ktoré sú uvedené v prílohe II k nariadeniu (EC) č.216/2008. Orgány vyšetrovania sa tiež môžu rozhodnúť vyšetriť každú leteckú nehodu alebo leteckú udalosť, ktorá je klasifikovaná mimo tie udalosti, ktoré budú podrobené bezpečnostnému vyšetrovaniu. [1]

Výkon vyšetrovania

Každý orgán zameraný bezpečnostné vyšetrovanie vyšetruje letecké nehody alebo letecké udalosti, ku ktorým došlo na území ich štátu. Ak sa miesto vzniku nehody či udalosti nenachádza na území žiadneho štátu, teda došlo k nehode či udalosti napr. v medzinárodných vodách, mal by vyšetrovanie vykonať vyšetrovací orgán štátu v ktorom je lietadlo zúčastnené na leteckej nehode či leteckej udalosti registrované. Vyšetrovací orgán môže tiež vyšetrovať letecké nehody alebo letecké v mene iného štátu, ak je na naň po vzájomnej dohode delegované vyšetrovanie. [1]

Druh vykonávaného vyšetrovania

Rozsah vyšetrovania a postup použitý pri vyšetrovaní leteckej nehody alebo leteckej udalosti určuje vyšetrovací orgán s prihliadnutím na očakávané závery vyšetrovania, ktoré sú dôležitým prvkom pri zlepšovaní bezpečnosti letectva. Vyšetrovatelia môžu byť nasadení či už ako súčasť rozsiahleho tímu pri závažných nehodách civilnej leteckej dopravy tak aj samostatne pri závažných nehodách menšieho rozsahu. [1]

Povinnosť informovania ostatných štátov

Orgány bezpečnostného vyšetrovania v štáte vzniku leteckej nehody alebo leteckej udalosti musia bezodkladne informovať o nehode štáty:

- Registrácie lietadla,
- Prevádzky,
- Výrobcu lietadla,
- Výrobcu pohonnej jednotky (v závislosti od povahy udalosti). [1]

3.1.2 Vyšetrovanie na mieste udalosti

Táto fáza vyšetrovania leteckej nehody alebo leteckej udalosti je označená ako krok, pri ktorom dochádza k zhromažďovaniu informácií buď z miesta nehody, z miest v ktorých došlo k zmene letových parametrov, od očitých svedkov alebo záznamových zariadení ako sú práve bezpečnostné kamery. Prvú časť počiatočnej fázy môže komplikovať neznáme miesto prípadne náročný terén, kde ku leteckému nešťastiu došlo. Môže sa jednať napríklad o hornatý terén, málo osídlené oblasti, husté džungle a v extrémnom počasí to môže byť ešte horšie, ak došlo k rozpadu lietadla, kedy môže dôjsť k rozptýleniu trosiek na veľkej ploche vplyvom poveternostných podmienok. Pri nehode pri ktorej došlo k potopeniu lietadla pod vodnú hladinu predstavuje náročnú výzvu lokalizácia skutočného miesta dopadu. Nie všetky vyšetrovania majú poľnú fázu. Niektoré menej závažné udalosti je možné vyriešiť samotným zadokumentovaním. [1]

Zhromažďovanie dôkazov

Po vypátraní miesta leteckej nehody alebo leteckej udalosti sa vždy dáva prednosť pátraniu a záchrane po preživších. Napriek tomu do tejto fázy môžu byť zapojení aj vyšetrovatelia, aby sa zabezpečilo zaznamenanie akýchkoľvek doposiaľ nenarušených dôkazov v etape záchrany. Počiatočnými krokmi vyšetrovateľov je zabezpečenie miesta leteckej nehody alebo leteckej udalosti pred vstupom cudzích ľudí, ktorí by mohli narušiť alebo poškodiť dôkazový materiál a pokiaľ je to možné, uchovanie všetkých relevantných dôkazov. Niektoré dôkazy môžu mať krátku životnosť ako napr. ľad, unikajúce palivo alebo zapisovače údajov. Tieto dôkazy majú často prioritu a v počiatočných štádiách ich vyšetrovatelia izolujú a zhromažďujú. K ohrozeniu dôkazových materiálov môže dôjsť aj vplyvom vzniknutého požiaru. Všetky dôkazy ktoré je potrebné odstrániť pre ďalšiu analýzu sú najprv zaznamenané a až následne je ich možné odstrániť. Zhromažďovanie dôkazov môže často zabráť nemálo času a môže byť zdržované nebezpečenstvami vyskytujúcimi sa na mieste nehody ako napr. nebezpečný náklad, horľavé alebo toxické materiály a ostré alebo ťažké predmety. Medzi príklady zdrojov okamžitých dôkazov patria trosky lietadla, záznamník letových údajov (FDR) a hlasový záznamník z pilotnej kabíny (CVR), záznamy z pitevných vyšetrení a rozhovory s očitými svedkami. Môžu sa tiež zhromažďovať informácie ako napr. od majiteľa lietadla, organizácie údržby, organizácie výcviku, výrobcu lietadla, poskytovateľov letových a navigačných služieb či prevádzkovateľov letísk. Jedným z najdôležitejších dôkazov sú už spomínané letové zapisovače, ktoré sú špeciálne navrhnuté tak, aby odolali rôznym vplyvom, či už voči požiaru vzniknutom na mieste nehody alebo vplyvom nárazu lietadla na zem alebo hladinu vody. Vplyvom postupnosti vyšetrovania bude zhromažďovanie dôkazov pokračovať mimo miesta nehody. Zvyčajne táto časť vyšetrovania zaberie väčšie množstvo času a môže zahŕňať činnosti ako napr. podrobné preskúmanie vraku, dekódovanie zaznamenaných letových údajov alebo testovanie

komponentov v zariadeniach výrobcu alebo v špecializovaných laboratóriách. Pokiaľ to nie je nutné, orgány vyšetrojúce nehodu sa snažia nenarušať chod komerčnej leteckej prevádzky. V prípade, ak sa môže jednať o vážnu závalu, ktorou by mohli disponovať aj iné lietadlá podobného typu, je nutné prijať adekvátne opatrenia, aby sa predišlo opakovaniu podobnej udalosti ešte počas prebiehajúceho vyšetrovania. [1]

Vyzdvihovanie trosiek

V závislosti od oblasti a polohy v ktorej sa lietadlo nachádza môže byť vyzdvihnutie trosiek veľmi časovo a finančne náročné, nakoľko je k tomu potrebné špeciálne vybavenie a kvalifikovaný personál. V niektorých prípadoch môžu byť vyzdvihnuté primárne iba letové zapisovače a kľúčové časti vraku lietadla, ak vyzdvihnutie celého vraku nie je pre účely vyšetrovania potrebné. Následne je zodpovednosť vlastníka alebo poisťovateľa lietadla aby boli trosky vyzdvihnuté, pokiaľ tieto trosky potrebujú pre svoje účely alebo by zotrvanie vraku na mieste vzniku nehody mohlo predstavovať nebezpečenstvo či riziko. Zotrvanie takýchto častí lietadla na mieste nehody môžu mať za následok napríklad znečistenie prírody chemickými či jedovatými látkami, obzvlášť ak sa jedná o miesto vodných tokov a podobne. [1]

Podmienky zverejňovania

V letectve sa podporuje beztrebné nahlasovanie nezákonnej činnosti alebo podnety súvisiace s bezpečnosťou letovej prevádzky s cieľom vybudovať čestný a systematický systém nahlasovania. Táto koncepcia sa vzťahuje aj na samotné vyšetrovanie, aby mohli vyšetrovatelia zhromaždiť čo najväčšie množstvo kvalitných dôkazov bez toho, aby sa zdroj dôkazov zaoberal možnými následkami.

Niektoré dôkazy sa osobitne klasifikujú ako použité výlučne na účely vyšetrovania a ich zverejnenie je dostatočne chránené. Príkladmi sú aj svedecké výpovede, poznámky vyšetrovateľov či hlasové a obrazové záznamy. Niektoré z týchto záznamov môžu byť zverejnené na základe právnej žiadosti príslušného štátu. Súdny orgán alebo príslušný orgán v tomto štáte potom musí rozhodnúť, či výhody zverejnenia prevažujú nad nepriaznivými domácimi alebo medzinárodnými dopadmi. Dôkazy ktoré nesúvisia s nehodou napríklad negatívny test na prítomnosť alkoholu v krvi letovej posádky je jedným z dôkazov, ktoré sa pri vydávaní záverečnej správy nezverejňujú. [1]

3.1.3 Analýza získaných dôkazov

Kvalifikovaní vyšetrovatelia za pomoci skúseností nadobudnutých predošlými vyšetrovaniami analyzujú vecný dôkazový materiál zhromaždený pri zbere dôkazov z miesta nehody a snažia sa o stanovenie najpravdepodobnejších príčin a faktorov prospievajúcich k vzniku nehody. Objasnenie týchto faktorov vo veľkej miere závisí od kvality a množstva dostupného dôkazového materiálu zhromaždeného počas poľnej fázy v teréne. Analýza často identifikuje kľúčové oblasti pred, počas a po lete, ktoré sú relevantné pre zistenie príčin vzniknutej nehody či udalosti. Jej cieľom je poskytnúť logické spojenie medzi faktickými informáciami a závermi vyšetrovacej správy. Analýza dôkazov môže odhaliť, kde pri nehode alebo udalosti došlo k poruchám alebo nedostatkom. Týka sa to aj oblasti pred vznikom nehody či udalosti, napríklad pred rozpadom lietadla počas letu, alebo po náraze, kedy pôsobiace sily pri dopade alebo požiar môžu značne ovplyvniť dôkazový

materiál. Analýza faktických informácií v zásade spočíva v skúmaní sledu udalostí, ich opisom a vysvetlením. Inými slovami, majú vyšetrovatelia za úlohu poskytnúť odpovede na otázky, ako a prečo k nehode alebo k udalosti došlo. Preskúmajú sa aj prevádzkové aspekty ako kvalifikácia a výcvik letovej posádky, meteorologické podmienky a ľudská výkonnosť. Zameriava sa taktiež aj na technické a mechanické aspekty ako napríklad konkrétne získané komponenty z vraku, výkonnosť lietadla, história údržby lietadla a leteckých systémov. Rozsah a hĺbka analýzy sa určuje počas vyšetrovania, pre prípad ak by bolo nutné prejsť do podobností. [1]

3.1.4 Vyšetrovacie správy

Podávanie správ o vyšetrovaní leteckých nehôd alebo leteckých udalostí môže mať rôzne formy, od tlačových konferencií po verejne dostupné zdokumentované informácie z vyšetrovania. Ak sa zistí závažný nedostatok v oblasti bezpečnosti letovej prevádzky, vyšetrovací orgán môže kedykoľvek upovedomiť príslušné orgány alebo vydať predbežné správy s cieľom zabezpečiť nápravu v čo najkratšom možnom čase. Správa informácií najmä v počiatočnom štádiu vyšetrovania musí zvládnuť očakávanie verejnosti týkajúce sa informácií z oblasti vyšetrovania a zároveň zverejňovať iba overené a relevantné údaje. Všetky strany zapojené do vyšetrovania by mali byť oboznámené s potrebou dôveryhodnosti a mali by chápať, že informácie by sa mali zverejňovať iba so súhlasom zodpovedného vyšetrovateľa. Jediným primárnym zdrojom informácií pre verejnosť je ten, ktorý je zverejnený Úradom bezpečnostného vyšetrovania, ktorý vyšetrovanie vedie. Väčšina týchto informácií je k dispozícii na webových stránkach úradu pre bezpečnostné vyšetrovanie alebo je k dispozícii po priamom kontaktovaní úradu pre bezpečnostné vyšetrovanie. Niektoré správy sa navyše zhromažďujú do hlavných knižníc ako napr. Eurocontrol Skybrary, FAA Lessons Learned, ICAO. Okrem zverejnenia správ sa úrad môže rozhodnúť, pokiaľ si to vyžaduje bezpečnosť, zvýrazniť správy prostredníctvom sociálnych médií, tlačových správ alebo dokonca usporiadať tlačovú konferenciu. [1]

Predbežné a priebežné správy

Počas vyšetrovania môže orgán pre bezpečnostné vyšetrovanie vydať predbežnú, priebežnú alebo inú správu, ktorej obsah môže pozostávať jedine z faktických informácií. Môže obsahovať počiatočné závery a predbežné odporúčania. Účelom týchto správ je poskytnutie leteckému priemyslu aktuálne informácie o bezpečnosti, riešenie akýchkoľvek bezprostredných obáv o bezpečnosť a tiež informovať poškodených a pozostalých obetí o hlavnom zameraní vyšetrovania. [1]

Záverečná správa

Na konci každého vyšetrovania je zodpovednosťou orgánu pre bezpečnostné vyšetrovanie vypracovať záverečnú správu. Obsah a forma záverečnej správy sa môžu líšiť v závislosti od typu a okolností leteckej nehody alebo leteckej udalosti. Záverečná správa je vydávaná v najkratšom možnom čase s ohľadom na to, aby to nemalo dopad na kvalitu vyšetrovania. Ak záverečnú správu nie je možné vydať do 12 mesiacov od udalosti, orgán pre bezpečnostné vyšetrovanie je povinný zverejniť predbežné vyhlásenie s podrobným popisom postupu vyšetrovania. V záverečných správach sa nezmieňujú mená zúčastnených osôb aby bola zachovaná určitá anonymita

a požiadavky na nezverejnenie niektorých informácií. Záverečná správa zväčša pozostáva zo štyroch hlavných častí:

- Zistené informácie,
- Analýza,
- Závery,
- Bezpečnostné odporúčania.

Očakáva sa, že správa bude záverom v identifikácii nálezov, príčin a faktorov vzniku leteckej nehody alebo leteckej udalosti. Nie všetky vyšetrovania túto fázu dosiahnu, nakoľko to závisí od dôkazov dostupných na analýzu. [1]

Konzultácia záverečnej správy

Pred zverejnením záverečnej správy majú všetky štáty podieľajúce sa na bezpečnostnom vyšetrovaní, možnosť vyjadriť sa k správe prostredníctvom svojich príslušných akreditovaných zástupcov. Niektoré štáty vedú rozsiahlejšie konzultácie s akýmikoľvek osobami alebo organizáciami, ktorých reputácia môže byť zverejnením správy nepriaznivo ovplyvnená. Okrem toho má každá dotknutá strana, ktorej bolo bezpečnostné odporúčanie určené, taktiež možnosť vyjadriť sa. Túto správu vydá v konečnom dôsledku nezávislý úrad pre bezpečnostné vyšetrovanie. [1]

Iné správy

Bezpečnostné vyšetrovanie môže byť zložitá a časovo náročná úloha a niektoré orgány vyšetrovania sa môžu rozhodnúť zdieľať postupy a skúsenosti so špecializovanými technikmi v ďalších konkrétnych správach. S cieľom informovať verejnosť o úrovni všeobecnej bezpečnosti letectva sú členské štáty povinné zverejniť výročnú správu o bezpečnosti na vnútroštátnej úrovni. V tejto analýze nebudú odhalené zdroje dôverných informácií. [1]

3.1.5 Bezpečnostné odporúčania

Účelom orgánu pre bezpečnostné vyšetrovanie je globálne zlepšenie leteckej bezpečnosti stanovením príčin leteckých nehôd a leteckých udalostí a vydaním bezpečnostných odporúčaní zameraných na prevenciu opakovania. Bezpečnostné odporúčania sú prostriedky, pomocou ktorých orgán pre bezpečnostné vyšetrovanie zverejňuje a oznamuje svoje obavy z riešenia bezpečnostných nedostatkov zistených počas vyšetrovania alebo analýzy informácií týkajúcich sa bezpečnosti letectva. Každé bezpečnostné odporúčanie by malo mať adresáta a nesmie pripisovať vinu ani zodpovednosť žiadnej fyzickej osobe či dotknutej strane. Ak vyšetrovaním vzniknú bezprostredné obavy o bezpečnosť, je možné kedykoľvek vydať bezpečnostné odporúčanie. Ak sú vypracované pred záverečnou správou, zvyčajne ich sprevádza predbežná správa, v ktorej sa uvádza odôvodnenie bezprostredného bezpečnostného problému. Ak sa vezmú do úvahy bezpečnostné odporúčania, orgány pre vyšetrovanie bezpečnosti by mali zabezpečiť, aby boli dobre preskúmané, správne zamerané a presne vypracované. V bezpečnostnom odporúčaní by sa malo určiť aký cieľ sa má dosiahnuť. Všetky bezpečnostné odporúčania by sa mali brať do úvahy v kontexte a spolu s faktickými informáciami a analýzou v záverečnej správe. Bezpečnostný problém zistený vyšetrovaním sa zvyčajne dostane do povedomia čo najskôr a prediskutuje sa príslušnou organizáciou. Zámerom je

povzbudiť organizácie aby prijali proaktívne bezpečnostné opatrenia namiesto čakania na bezpečnostné odporúčanie. Ak sa na riešenie problému s bezpečnosťou prijímajú bezpečnostné opatrenia, nemusí sa vyžadovať bezpečnostné odporúčanie ale bezpečnostné opatrenia môžu byť potom podrobne uvedené vo vyšetrovacej správe. Orgány bezpečnostného vyšetrovania nemajú právny základ na presadzovanie bezpečnostných odporúčaní. Aj keď sú adresáti povinní odpovedať na odporúčanie, nie sú zo zákona povinní ich implementovať. Spravidla však vyhodnotia svoje finančné, prevádzkové a politické dopady. Orgány bezpečnostného vyšetrovania následne sledujú pokrok vo svojich odporúčaní a zverejňujú ich stav vrátane toho, či sa implementácia považuje za uzavretú alebo prijatú. [1]

4. Výsledky práce a zhodnotenie

Vyšetrovanie leteckých nehôd ako také má pozitívny prínos pre bezpečnosť leteckej dopravy. Vďaka ich postupom a hlavne výsledkom je možné poukazovať na vzniknuté alebo pretrvávajúce nedostatky v odbore leteckej dopravy, riešiť vzniknuté problémy ale najmä je to najlepší nástroj pri prevencii vzniku zbytočných nehôd ktorým je možné jednoducho zabrániť zistením príčiny, jej následným odstránením a prijatím adekvátnych pravidiel či postupov. Samotné vyšetrovanie leteckých nehôd je taktiež oklieštené dostupnými technológiami ktoré napomáhajú k skráteniu potrebného časového priestoru pre priebeh vyšetrovania. Rokmi sa stáva vyšetrovanie leteckých nehôd úspešnejším a priaznivo vplýva na bezpečnosť leteckej dopravy.

4.1 Progresívne metódy vyšetrovania leteckých nehôd

Progresívnymi metódami vyšetrovania leteckých nehôd sa rozumejú metódy vyšetrovania, ktoré sú nové a očakáva sa od nich nejaký prínos oproti vyšetrovaniu leteckých nehôd v minulosti. Jedná sa o metódy, ktoré majú pomôcť pri vyšetrovaní, tým uľahčiť prácu vyšetrovateľov pri vyšetrovaní a mali by sa zamerať na kvalitnejšie vyšetrovanie a časovú či finančnú úsporu.

4.1.1 Výhody využitia bezpilotných prostriedkov pri vyšetrovaní leteckých nehôd

Využitie takýchto bezpilotných prostriedkov má nesporné výhody. Prevádzkovanie podobného bezpilotného prostriedku je oproti lietadlu či ba dokonca vrtuľníku omnoho lacnejšie a oproti nim je ich možné použiť aj v podmienkach zníženej dohľadnosti. Ich malá hmotnosť a rozmery im umožňujú dostať sa oveľa bližšie k miestu leteckej udalosti bez toho, aby ovplyvnili či narušili dôkazové materiály. Ich využitie je možné takmer kedykoľvek v krátkej dobe pričom ponúkajú možnosť priameho prenosu obrazu.

4.1.2 Fotogrametria

Jedná sa o súbor metód používaných pre získanie kartografických alebo geodetických súradníc, rozmerových súradníc na základe analógovej alebo digitálnej fotografie či videa. Využíva optické, fotografické a geometricko-matematické metódy. Porovnáva rozdiely viacerých záberov z rôznych uhlov, pozícií a výšky z ktorých vyhodnocuje rozmery a vzdialenosti jednotlivých objektov pri tvorbe 3D obrazu. 3D priestor je

tvorený matematickými výpočtami presných súradníc bodov, ktoré tvoria nejaký objekt. Tieto body sú umiestňované do jednotlivých osí a následne sú jednotlivé body spojené geometrickými útvarmi ako trojuholníky, čiary či zaoblenie, čím vytvoria model.

4.1.3 LiDAR

LiDAR alebo Light Detection Ranging, niekedy označovaný aj ako aktívne laserové skenovanie, je metóda diaľkového snímania, ktorú je možné použiť na mapovanie objektov na určitej ploche. Jedná sa o aktívny systém diaľkového snímania ktorý možno použiť na snímanie a zaznamenávanie rôznych plôch či objektov. Diaľkový prieskum znamená, že v skutočnosti fyzicky nemeríme veci alebo objekty rukami. Používajú sa senzory, ktoré zachytávajú informácie snímanej plochy a zaznamenávajú objekty ktoré je možno použiť na odhad podmienok a charakteristík. [3,5]

4.1.4 Počítačové simulovanie

Pri vyšetrovaní je možné použiť aj iné techniky ako sú tie vyššie zmienené. Snímkovanie či skenovanie laserovou technológiou je prevažne technológia používaná na zber údajov. Získané údaje je možné podrobiť počítačovej simulácii, kedy sa tieto údaje nahrajú do softvéru, ktorý ich vyhodnotí a na základe zistených informácií vypočíta predpokladaný model simulácie. Môže sa jednať či už o simulovanie samotného letu, kedy sú použité primárne údaje zo záznamových zariadení z paluby lietadla a je možné simulovať priebeh letu v spojení s činnosťami, ktoré letová posádka vykonávala, alebo je možné aj simulovanie namáhania jednotlivých komponentov ak jestvuje podozrenie na mechanickú závalu. Vďaka simuláciám je možné analyzovať získané údaje priamo na praktickom príklade ktoré môžu vo veľmi krátkom čase napomôcť k zisteniu skutočnej príčiny vzniku danej leteckej udalosti. [6]

4.1.5 Matematické modelovanie

Matematické modelovanie ponúka jedinečnú možnosť spracovania získaných dát napríklad z bezpilotných prostriedkov. Tieto získané dáta sa spracovávajú softvérovo za pomoci výpočtovej techniky. Softvér vyhodnocuje údaje, zisťuje ich odlišnosti a matematickými operáciami vytvára finálny pohľad. Dnešná výpočtová technika umožňuje mnohonásobne zložitejšie matematické operácie. V minulosti by bolo možné vyhotoviť maximálne 2D zobrazenie z určitého pohľadu. Dnes už je možné vyhotovenie 3D modelu priestoru a sledovať ho z rôznych strán či uhlov, pričom ostanú zachované vzdialenosti a tvary objektov, čiže nedochádza k ich deformácii. Nové metódy a postupy v informatike umožňujú vyšetrovateľom získať nový pohľad na daný problém, ako aj zistiť príčinu, sled udalostí, ktoré viedli k leteckej nehode. [8]

4.1.6 Metóda vírivých prúdov

Metóda vírivých prúdov sa používa na testovanie elektricky vodivých materiálov a má široké oblasti využitia. Táto metóda sa rovnocenne používa v režime ručného skúšania, ale dá sa výborne automatizovať. Táto metóda sa používa prevažne v letectve na kontrolu elektricky vodivých materiálov na odhalenie vnútorných trhlin, poškodení či korózií a v automobilovom priemysle pri kontrole komponentov vo fáze

výroby. Metóda patrí medzi tzv. povrchové metódy. To znamená, že je najčastejšie využívaná na detekciu povrchových väd a korózie. Napriek tomu je však možné pomocou tejto metódy hľadať aj vady v určitej hĺbke pod povrchom. [7]

5. Záver

Cieľom článku bola analýza postupov pri vyšetrovaní, možnosti vyšetrovacích zvolených vyšetrovacích postupov a rozobratie spôsobov vyšetrovania na konkrétnych prípadoch. Pri výbere konkrétnych leteckých udalostí som zámerne zvolil dve odlišné letecké udalosti aby bolo možné poukázať na nutné jednotlivé kroky v spôsoboch vyšetrovania, keďže v oboch prípadoch sa jednalo o odlišné kategórie príčin. Vzhľadom na fakt, že progresívne metódy vyšetrovania leteckých nehôd výrazne uľahčujú samotné vyšetrovanie, je potrebné tejto problematike venovať zvýšenú pozornosť, nakoľko môžu viesť k zníženiu nákladov pri vyšetrovaní, k úspore času a k zvýšeniu bezpečnosti v čo možnom najkratšom čase.

V prvej časti mojej práce som sa venoval zhrnutiu informácií o vyšetrovaní leteckých nehôd v minulosti, čím som mal v úmysle poznamenať a poukázať na údaje z minulého obdobia, ktoré majú slúžiť pre predstavenie predošlej formy oblasti vyšetrovania leteckých nehôd.

V druhej časti práce som zbežne načrtnol aktuálnu situáciu z oblasti leteckej dopravy a z oblasti vyšetrovania leteckých nehôd ktorá má slúžiť ako porovnanie s minulosťou a preukázať pokrok v oblasti bezpečnosti leteckej dopravy ako takej.

Následne som sa zameril na výber dvoch leteckých udalostí s rôznym charakterom pre porovnanie. V jednom prípade sa jednalo o veľkú leteckú nehodu ktorá je medzi leteckou verejnosťou dobre známa a jednalo sa o väčšie lietadlo, kedy pri vývoji nehody hralo veľmi dôležitú rolu pochybenie posádky a teda pochybenie z oblasti ľudského faktora. Zameril som sa na postup vyšetrovania a objasnenie niektorých skutočností. Na druhej strane pre porovnanie som si zvolil vážny incident, ktorý sa udial na Slovensku. Napriek tomu, že v tom prvom prípade sa jednalo o veľké lietadlo a teda táto udalosť sa stala pri komerčnej leteckej prevádzke, rozhodol som sa taktiež zamerať na túto leteckú udalosť, nakoľko sa jednalo o prípad, kedy došlo k mechanickej závale na palivovej sústave, čím došlo k zastaveniu pohonnej jednotky, ktorú sa už nepodarilo znova prinavrátiť do prevádzky schopného stavu.

Napriek tomu, že sa tieto dve udalosti líšia, rozhodol som sa zamerať práve na tento vážny incident, nakoľko som mal možnosť čerpať informácie priamo od osoby, ktorej sa tento vážny incident prihodil a taktiež som mal možnosť požiadať o pomoc vyšetrovateľa tohto vážneho incidentu pri zhromažďovaní materiálov k tejto záverečnej práci.

Na konci práce som zhrnul posun vyšetrovania leteckých nehôd v technickej oblasti a možnosti využitia progresívnych metód pri vyšetrovaní leteckých nehôd. Progresívne metódy napomáhajú k dosiahnutiu želaného výsledku vyšetrovania za kratší čas, čím sa skráti aj čas aplikácie odporúčaní vyplývajúcich zo zistení pri vyšetrovaní. Vývojové oblasti leteckej techniky ako strojárstvo, informatika a elektrotechnika majú významné postavenie pri riešení nedostatkov a zároveň sú využívané aj techniky spomínané v práci pri prevencii, napríklad pri servisných prehliadkach.

Pod'akovanie

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] Safety Investigations [online] Dostupné na internete: https://ec.europa.eu/transport/modes/air/encasia/activities/investigation_el (citované 2021-01-27)
- [2] Benefits of using drones at aircraft accident sites [online] Dostupné na internete: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4446.pdf> (citované 2021-05-16)
- [3] The basic of LiDAR [online] Dostupné na internete: <https://www.neonscience.org/resources/learning-hub/tutorials/lidar-basics> (citované 2021-05-16)
- [4] Metóda vírivých prúdov – Eddy Current Testing [online] Dostupné na internete: <http://www.atg.sk/ndt-151&display=ET> (citované 2021-05-23)
- [5] Mrva, M. et. al. 2020. Experimental state of thrust testing of aircraft reciprocating internal combustion engine In: Aero-Journal [print, electronic] : International Scientific Journal of Air Transport Industry. - ISSN 1338-8215. - Roč. 15, č. 2 (2020), p. 15-18
- [6] Bugaj, M., et. al. 2019. Aircraft maintenance reserves – new approach to optimization In: Global Trends in Aviation [electronic] : 8th International Conference on Air Transport, ISSN 2352-1465, Amsterdam: Elsevier, 2019. - p. 31-40
- [7] Janovec, M., Bugaj, M. 2019, Materials surface inspection with eddy current array method, In: Nové trendy v civilnom letectve [print]. - 1. vyd. - Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2019, ISBN 978-80-554-1579-6, p. 73-76
- [8] Pecho, P., et.al. 2019. Introduction study of design and layout of UAVs 3D printed wings in relation to optimal lightweight and load distribution, In: TRANSCOM 2019 [electronic] : conference proceedings, ISSN 2352-1465. Amsterdam: Elsevier Science, 2019. p. 861-868 [online]

FLYING IN WAVE CONDITIONS, PRICIPLE OF LFYING IN WAVE, HISTORY AND DANGERS

LIETANIE VO VLNOVÝCH PODMIENKACH, JEHO PRINCÍP, HISTÓRIA A NEBEZPEČENSTVÁ

Ivan Bajana
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
Bajana1@stud.uniza.sk

Miriam Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina
miriamjaros@gmail.com

Abstract

Flying in wave is becoming increasingly popular for pilots of gliders and sport engine airplanes. The growing trend of flying in wave conditions can be seen not only in Slovakia but almost all over the world. The reason for the increase in the number of the high-altitude flights in the wave is their great potential, which has been demonstrated several times in the record books. On the contrary, for navigation and training flights, the occurrence of wave current is unsuitable. It brings with it great risks and dangers that have ended tragically many times in history. For this reason, there is a long and extensive meteorological preparation behind the wave flights. The aim of wave conditions research is to provide information on how to predict wave flow, under what conditions and with at least what equipment it is possible to fly safely in wave current and what pitfalls and risks wave brings with it. The result is a range of information that can be used not only for flights into the wave but also for normal navigation or training flights.

Keywords

Meteorological preparation, Wave flow, Rotor flow, Gliding, Vertically active air mass, Orography, Wind situation

1. Úvod

Znalosť meteorologických podmienok je pre pilotov strategická. Týka sa to športových výkonnostných pilotov, dopravných pilotov ale aj pilotov, ktorí lietajú pre vlastné potešenie. Pre športového pilota je čítanie meteorologickej situácie dôležitá pre dosahovanie čo najlepších výkonov. Pre dopravného pilota je zas znalosť meteorologických podmienok významná pre vykonanie bezpečného a hladkého priebehu letu. Aj z týchto dôvodov je dobré keď piloti poznajú rôzne meteorologické javy vyskytujúce sa v ovzduší [1].

Bakalárska práca na tému Lietanie vo vlnových podmienkach, jeho princíp, história a nebezpečenstvá pojednáva o dôležitosti meteorologickej prípravy a to najmä pre pilotov bezmotorových pilotov. Ich výkony a výsledky sú závislé od dobrých znalostí počasia na miestach kde lietajú a to platí hlavne pri lietaní vo vlnovom prúde [2].

Vlnové prúdenie, okrem potenciálu zalietnuť svetové vzdialenostné a výškové rekordy, v sebe skrýva mnoho nebezpečenstiev. Táto bakalárska práca informuje o týchto nebezpečenstvách, reálne ich skúma vo výskume vlnového lietania a výsledkom sú odporúčania ako sa správať vo vlnovom prúde [3] [4].

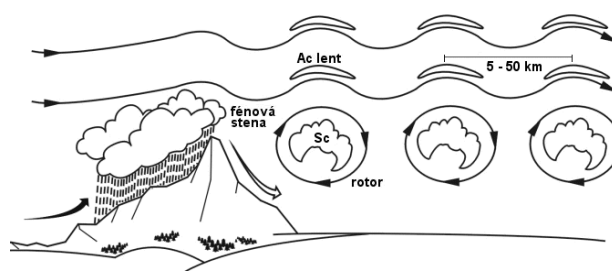
2. Jadro

Práca je z úvodu zameraná na poukázanie, prečo je vlnové lietanie pre športových pilotov dôležité. Vo vlnových podmienkach bolo totiž odlietaných niekoľko slovenských

rekordov ale taktiež aj svetových rekordov zalietnutých na území Slovenska.

Jadro tejto bakalárskej práce sa venuje najmä vetru. Detailnejšie pojednáva ako vietor vzniká a dáva na známosť aký je vietor strategický pri vlnovom prúde. Zaujímá sa tým, ako sa líšia meteorologické predpovede pre dopravných pilotov a športových pilotov a aké sú vyhľadované a dôležité informácie pre obe strany. Neskôr sa autor práce venuje podrobnejšej predpovede pre športového pilota, ktorého cieľom je letieť vlnový let.

Keď je čitateľ zoznámený ako vykonávať meteorologickú prípravu na let do vlnového prúdenia, práca sa zaoberá ako vlnové prúdenie vzniká. Ak je pilot lietadla s týmto faktorom dostatočne oboznámený, pomôže mu to k lepšiemu výkonu ale najmä k vyššej bezpečnosti letu. V práci sa oboznamuje, čo je potrebné na vznik vlnového prúdenia, aké sú najvhodnejšie podmienky ale tak isto ako sa dá do vlnového prúdenia dostať.



Obrázok 1 Načrtnutie vlnového prúdenia. Zdroj: Autori.

Následne sa práca venovala technickým požiadavkám na vlnové lietanie. V tejto časti je vedené aké je potrebné technické vybavenie lietadla, s ktorým je plán letieť do veľkých výšok v laminárnom prúde vlny. Detailnejšie sa opisuje nutnosť používania kyslíkového vybavenia a znalosť vzdušných priestorov, kde let plánovaný. Je to z dôvodu bezpečnosti a nenarušenia vzdušných priestorov, do ktorých je bez dostatočného vybavenia ako odpovedač, let zakázaný.

Dôležitosť práce a jej cieľ znásobuje časť, kde sú opísané nebezpečenstvá vlnového lietania. Niektoré nástrahy tohto typu lietania môžu viesť do tragických nehôd ako tej, z dňa 3.11.2019, ktorá je opísaná v práci. Na vykonanie bezpečného letu do vlny, alebo bezpečného preletu cez oblasť kde sa vlna nachádza, je potrebné vedieť aj fakty z týchto leteckých nehôd. Môže to viesť k zvýšeniu bezpečnosti týchto letov.

V praktická časť tejto bakalárskej práce sa venuje výskumu vlnového lietania. Jednalo sa o výskumný let na bezmotorovom lietadle, vetroni, ktorý je pre výskum dejov v atmosfére najvhodnejší. Výskum vlny vykonával v dňa 18.9.2019 sám autor práce, tým práca získala priamy styk s vlnou.

V prvom rade autor opisoval meteorologickú predpoveď a predpoklady vývoju počasia počas letového dňa. Následne detailné opisovanie letu vo vlně s množstvom informácií a poznatkov splnilo autorove očakávania z vlnového letu vo výskume bakalárskej práce.



Obrázok 20 Výskum vlnového letu. Zdroj: Autori.

V časti výsledkoch práce, sú opísované autorove postrehy z letu a jeho odporúčania, ktoré môžu byť použité nielen športovými pilotmi ale taktiež pilotmi letiacich navigačné lety vo horskom teréne. Podľa zistení práce, je totiž let v horskom teréne za nepriaznivých poveternostných podmienok, ktoré môžu dôjsť k vzniku vlnového prúdenia a taktiež rotorov, veľmi nebezpečné. Primárnym výsledkom práce je informovať a odporúčať pilotom ako sa za takých podmienok správne správať a sekundárne výsledky sú opísované v tejto časti.

3. Záver

Práca ukázala, že let do vlnového prostredia je možný aj bez finančne náročného technického vybavenia. Pokiaľ však lietadlo disponuje aj zariadeniami s ktorými je možný let do niekoľkých kilometrov, vo vzdušných priestoroch Slovenska sa tieto lety vykonávajú len ťažko. Aj keď sa na Slovensku lieta vlna už vyše 40 rokov stále sa piloti slovenských vetroňov stretávajú s prekážkami akými sú práve vzdušné priestory neprispôsobené pre športové výškové lety.

Napriek tomu bolo možné vykonať výskumný vlnový let s cieľom získať informácie a znalosti o vlnovom letaní. Výsledky tejto práce majú význam najmä pre pilotov, ktorí o vlnové lietanie majú záujem. Práca taktiež ukázala a dokázala, že znalosť o tom ako vlna vzniká, a ako sa prejavuje a aké sú jej nebezpečenstvá je významná taktiež pre pilotov iných druhov lietania.



Obrázok 3 Leto vo vlnovom prostredí v bezmotorovom lietadle. Zdroj: Autori.

V bakalárskej práci sú zahrnuté informácie o predpisoch a o minimálnom vybavení lietadiel ako aj zoznámenie sa s tým aká dôležitá je meteorologická príprava v hornatých krajinách. V práci je zdôraznené, že znalosť vetra pri navigačných preletoch cez kopcovité časti krajín je veľmi dôležitá. Len vďaka dobrej príprave a pripravenosti na nebezpečné okolnosti ktoré vznikajú nad pohoriami, je napríklad možno vypočítať minimálne výšky nad terénom s bezpečnou rezervou.

Taktiež je prácou potvrdené, že riadenie lietadla za horších poveternostných podmienok vyžaduje väčšiu pozornosť a pripravenosti na daný typ letu. Neuvedomovanie si poveternostných podmienok môže vo vlně spôsobiť čiastočnú stratu očného kontaktu so zemou alebo úplný let do oblačnosti bez vybavenia na takýto typ lietania.

Týmito informáciami práca vykázala prínos pre všetkých pilotov zaujímavých sa o tento typ lietania alebo pilotov, ktorých cieľom je vykonávať športové lety do vlnového prostredia.

Referencie

- [1] KROLLOVÁ, S.: Letecká Meteorologická Služba. Žilinská Univerzita v Žiline. 2015. 182 s. ISBN 978-80-8181-015-2.

- [2] BALÁŽOVIČOVÁ, L.: Základy meteorológie a klimatológie pre geografov. Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici. 2015. 150 s. ISBN 978-80-557-0954-3.
- [3] POLČÁK, N.: Základy klimatológie pre geografov. Vysokoškolské skriptá. 1. vydanie. Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici. 2009. 115 s. ISBN 9788080837662.
- [4] 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.

