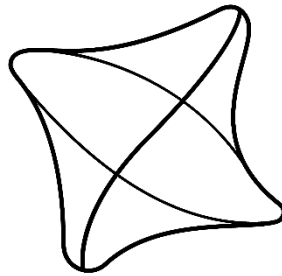


PRÁCE A ŠTÚDIE
STUDIES

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 15
VOLUME 15

Žilina, 2024

REDAKČNÁ RADA

prof. Ing. Antonín Kazda , CSc.	doc. Ing. Pavol Kurdel , PhD.
Ing. Michal Červínka , PhD.	doc. Ing. Dr. Tomasz Lusiak
doc. Ing. Branislav Kandra , PhD.	assoc. prof. Dr. Anna Stelmach
doc. Ing. Benedikt Badánik , PhD.	assoc. prof. Dr. Anna Rudavska
Doc. Ing. Jozef Čerňan , PhD.	Doc. Ing. Jakub Kraus , Ph.D.
Mgr. Miriam Jarošová , PhD.	doc. Ing. Peter Vittek , Ph.D.
Ing. Ján Rostáš , PhD.	doc. Ing. Vladimír Socha , PhD.
doc. Ing. Martin Bugaj , PhD.	Ing. Stanislav Pleninger , Ph.D.
JUDr. doc. Ing. Alena Novák Sedláčková , PhD.	Ing. Ján Zýka , Ph.D.
prof. Ing. Anna Tomová , CSc.	doc. RNDr. Vladimír Krajčík , Ph.D.
Ing. Filip Škultéty , PhD.	prof. Ing. Ján Piľa , PhD.
Ing. František Jůn , CSc.	assoc. prof. Doris Novak , PhD.
Ing. Peter Blaško , CSc.	doc. Ing. Pavol Pecho , PhD.
Ing. Matúš Materna , PhD.	Ing. Michal Janovec , PhD.

TECHNICKÝ REDAKTOR / TEXT DESIGNER

Ing. Matúš Materna, PhD.

KONTAKT / CONTACT

Žilinská univerzita v Žiline / University of Žilina

Univerzitná 8215, 010 26 Žilina, Slovensko / Univerzitna 8215, 010 26 Žilina, Slovakia

kld@fpedas.uniza.sk

www.kld.uniza.sk

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, 2024

COPYRIGHT © University of Žilina, Slovak Republic, 2024

Rozširované elektronicky / Published electronically

ISBN 978-80-554-2157-5

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

U-SPACE V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY	5
NÁVRH TECHNICKÝCH ÚPRAV PRE ZVÝŠENIE VÝKONU PIESTOVÉHO MOTORA HERCULES TELEDYNE 4A084 ..	13
KONŠTRUKČNÁ OPTIMALIZÁCIA ANTÉNNYCH SYSTÉMOV UAS	18
ANALÝZA PREVÁDZKOVÝCH RIZÍK UAV	24
ANALÝZA MONITOROVANIA MOTOROVÝCH PRÍSTROJOV A ČINNOSTI PILOTA POČAS LETOV IFR.....	30
UPLATNENIE LIETADIEL RODINY AIRBUS A320 NEO A BOEING 737 MAX NA EURÓPSKOM TRHU	37
PREPRAVNÉ PRAVIDLÁ A VYKONÁVANIE KONTROLY V LETECKEJ DOPRAVE.....	47
DIDAKTICKÉ POMÔCKY VETERNÉHO TUNELA	52
NAPÁJANIE AVIONIKY LIETADIEL S KLASICKOU AVIONIKOU A GLASS KOKPIT	58
KONCEPT VRTUĽOVÉHO PROPULZORA PRE ŠIROKÝ ROZSAH RÝCHLOSTI LETU	61
PREVÁDZKOVÁ BEZPEČNOSŤ BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV S ELEKTRICKÝM POHONOM	66
ANALÝZA VYUŽITIA POZEMNÝCH RÁDIONAVIGAČNÝCH ZARIADENÍ V CIVILNOM LETECTVE	70
POSSIBILITIES OF INCREASING THE AERODROME FIRE CATEGORY OF ŽILINA AIRPORT TO LEVEL 5	75
PLÁNOVANIE A POSTUPY NAVIGAČNÝCH LETOV VFR	82
VYUŽITIE POZNATKOV Z LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SÚŤAŽÍ V PROSTREDÍ LETECKÉHO VÝCVIKU A VZDELÁVANIA	87
NÁVRH HYBRIDNEJ POHONNEJ JEDNOTKY PRE EXPERIMENTÁLNY LETÚN STRATON D7	92
NEW GENERATION AIRCRAFT CONCEPTS AND ASSESSMENT OF THEIR DESIGN SOLUTIONS	99
ANALÝZA PALUBNÉHO VYBAVENIA MODERNÝCH LIETADIEL.....	106
IDENTIFIKÁCIA RUŠENIA GNSS SIGNÁLU NA LETISKÁCH	110
FORECASTING FLIGHT DELAYS USING MACHINE LEARNING.....	114
VYUŽITIE MODERNÝCH TECHNOLOGIÍ V LETECKEJ PREPRAVE	120
LETECKÉ MULTISPEKTRÁLNE SNÍMKOVANIE V POĽNOHOSPODÁRSKOM ODVETVÍ	126
VÝVOJ PRÍSTROJOVÉHO VYBAVENIA LIETADIEL VŠEOBECNÉHO LETECTVA.....	131
TECHNICKO-PREVÁDZKOVÉ CHARAKTERISTIKY PRE RÔZNE APLIKÁCIE UAV	144
ANALÝZA NEKONVENČNÝCH AERODYNAMICKÝCH KONFIGURÁCIÍ LIETADIEL	146
VÝBER VHODNÉHO VÝCVIKU PRE BUDÚCICH DOPRAVNÝCH PILOTOV	151
OPTIMALIZÁCIA ČINNOSTI MOTORA ROTAX 915IS S ALTERNATÍVNOU RIADIACOU JEDNOTKOU.....	154
TECHNICKÉ PREVEDENIE SPÄTOVÄZOBNÉHO SYSTÉMU RIADENIA V LETECKOM SIMULÁTORE	157
WINDSHEAR A JEHO VPLYV NA LETECKÚ DOPRAVU	163



U-SPACE V PODMIENKACH SLOVENSKEJ REPUBLIKY

Natália Bejdáková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

Unmanned aerial vehicles are a dynamically developing industry. With the increasing number of remotely piloted aircraft, emphasis is being placed on ensuring safe operation in shared airspace with manned aircraft. In the countries of the European Union, including Slovakia, the concept of U-Space is gradually being implemented. The bachelor thesis is focused on the analysis of the current situation in the operation of unmanned aircraft, current legislation, operation rules, and implementation of the U-Space concept in Slovakia. Attention is being concentrated on explaining the concept of U-Space and defining the services, including the responsibilities and obligations of the entities present in this system. The thesis proposes a set of possible implementation solutions to ensure more efficient and faster development in Slovakia. Based on relevant proposals, specific examples of how the situation would change after the implementation of the selected proposals are pointed out. An analysis of the findings based on collected data from the questionnaire is given to determine the level of awareness of the U-Space concept and the improvement of the educational situation in Slovakia. Finally, the technical and economic aspects of U-Space implementation are being evaluated and possible pros and drawbacks are identified.

Keywords

U-Space, Unmanned aerial vehicle, UAV, UAS, Implementation

1. Úvod

Za posledné roky sa rapidne zvýšil záujem o využívanie bezpilotných lietajúcich prostriedkov v mnohých krajinách, vrátane Slovenska. Bepilotné lietadlá sú používané nielen pre rekreačné účely, ale nachádzajú uplatnenie aj v komerčných odvetviach. Monitorovanie poľnohospodárstva, doručovanie zásielok, mapovanie cestnej infraštruktúry, ochrana prírody sú iba niekoľkými príkladmi využitia UAS (Unmanned aircraft system) pre prospešné účely krajiny. Avšak s narastajúcim počtom bezpilotných lietadiel vyplynuli obavy o bezpečnosť riadeného vzdušného priestoru, v ktorom by mohlo dochádzať ku kolíziám medzi UAV (Unmanned aerial vehicle) a pilotovanými lietadlami.

Pre zaistenie bezpečnej integrácie UAS do vzdušného priestoru sa začal vyvíjať európsky systém riadenia prevádzky bezpilotných lietadiel s názvom „U-Space“. Tento koncept zahŕňa súbor nových služieb, ktoré kladú dôraz na digitalizáciu a automatizáciu spôsobu akým sú poskytované. U-Space zavádza technológie, pravidlá a postupy, ktorých hlavným cieľom je zabezpečiť bezpečný a efektívny prístup bezpilotných lietadiel do spoločného vzdušného priestoru s pilotovanými lietadlami. Pre úspešnú realizáciu U-Space je potrebné postupné implementovanie od základných služieb, cez počiatočné a pokročilé služby až kompletne služby, ktoré podporia bezpečnú prevádzku za pomoci poskytovania dôležitých informácií a údajov o polohe, počasí, prevádzke a mnoho ďalších.

Bolo potrebné sa zamerať na teoretický opis súčasného stavu na Slovensku v oblasti bezpilotných lietadiel, ako aj implementovania systému U-Space, definície samotného konceptu, vrátane služieb, ktoré prináša a prítomných subjektov. Po analýze súčasnej situácie a odhalení nedostatkov je možné poskytnúť súbor návrhov riešení, postupov, ktorými by

sa prispelo k zaisteniu bezpečnosti pri prevádzke a celkovej implementácie U-Space na Slovensku.

2. Metodika a metódy skúmania

Sú známe štúdie, podľa ktorých bude až 400 000 bezpilotných lietadiel poskytovať služby vo vzdušnom priestore do roku 2050, a predpokladaná tržová cena by mala predstavovať 10 miliárd eur ročne do roku 2035 [1]. Rozvoj prevádzky bezpilotných lietadiel so sebou prináša nevyhnutnosť vytvoriť koncepciu riadenia vzdušného priestoru, kde digitálna komunikácia a zodpovednosť predstavujú zásadnú úlohu, a budú rozdelené medzi jednotlivé zúčastnené strany, namiesto jedného centrálného subjektu. Iniciatíva pre integráciu UAS a splnenie požiadaviek prevádzky vo vzdušnom civilnom priestore v súčasnosti prebieha [2]. Pre podporu komerčných operácií s bezpilotnými lietadlami, hlavne tých, ktoré sa charakterizujú veľkou komplexnosťou a automatizáciou vznikol koncept U-Space [3]. Zahŕňa poskytovanie siete služieb a špecifických postupov určených pre prevádzkovateľov bezpilotných lietajúcich prostriedkov a umožňuje pre poskytovateľov služieb tretích strán spolu so súčasnými poskytovateľmi vytvorenie trhu v tomto koncepte [4]. Vo všetkých triedach vzdušného priestoru a vo všetkých typoch prostredia, ako aj najvyťaženejších poskytuje uľahčenie pravidelnej operácie bezpilotných lietadiel. **Základné oblasti U-Space vyplývajú z nasledujúcich princípov:**

- Zaručenie bezpečnosti všetkých používateľov vzdušného priestoru pôsobiacich v oblasti U-Space, vrátane tretích strán (napríklad chodcov).
- Poskytnúť prevádzku flotily bezpilotných lietajúcich prostriedkov v rámci prostredia s vysokou hustotou.

- Pre ktoréhokolvek používateľa vzdušného priestoru vytvoriť rovnocenný a spravodlivý vstup do tohto priestoru.
- Na úrovni infraštruktúry, služieb, komunikácie a implementácie znížiť náklady na prevádzku.
- Zabezpečenie neustálych služieb, ktoré sú nákladovo efektívne a schopné konkurencie pre podporu rozličných obchodných modelov prevádzkovateľov bezpilotných lietadiel.
- Zaistenie prístupu na báze bezpečnosti, výkonnosti a rizika. Spomínané požiadavky je potrebné schváliť v dôsledku bezpečnosti, vrátane kybernetickej bezpečnosti, ochrany osobných údajov a zároveň zabezpečiť ochranu životného prostredia.

Všetky druhy operácií UAS sú v súčasnosti schválené Európskym regulačným rámcom pre letectvo, z ktorého vychádzajú prevádzkové obmedzenia a prísny schvaľovací postup. Cieľom U-Space je zrušiť obmedzenia, ktoré sú z pohľadu bezpečnosti možné, zlepšiť situačnú informovanosť o prevádzke bezpilotných lietadiel, zefektívniť letový schvaľovací proces a podporiť rozvoj konkurencieschopného trhu so službami bezpilotných lietadiel v Európskej únii [5].

2.1. Prevádzka

V súčasnosti sa v prevádzke bezpilotných lietadiel uplatňuje koncepcia pre odstránenie rizík, ktoré predovšetkým zohľadňujú hmotnosť a špecifikácie civilného UAV a činnosť, pre ktorú je určený. Sú vymedzené **tri kategórie** civilnej prevádzky s bezpilotnými lietadlami: „**otvorená**“, „**osobitná**“ a „**osvedčená**“ kategória.

Otvorená kategória rozdeľuje prevádzku bezpilotných lietadiel do troch podkategórií: **A1** (bepilotné lietadlá do 500 g), **A2** (bepilotné lietadlá do 2 kg), **A3** (bepilotné lietadlá do 25 kg). Pre prevádzku v tejto kategórii platí, že pilot na diaľku udržuje bezpilotné lietadlo v bezpečnej vzdialenosti od davov, nebude lietať nad veľkými zhromaždeniami ľudí, pričom udržiava bezpilotné lietadlo v podmienkach VLOS (Visual line of sight) po celú dobu. Bepilotné lietadlo sa nesmie pohybovať viac ako 120 metrov od najbližšieho bodu na zemskom povrchu. Bepilotné lietadlo nesmie prepravovať nebezpečný tovar a nezhadzuje žiadne predmety počas letu. Pri prevádzke v noci musí mať aktivované zelené blikajúce svetlo. Od 1.1. 2024 na Slovensku musia mať bezpilotné lietadlá otvorenej kategórie triedy C1, C2, C3 aktívny a aktualizovaný systém diaľkovej identifikácie [6].

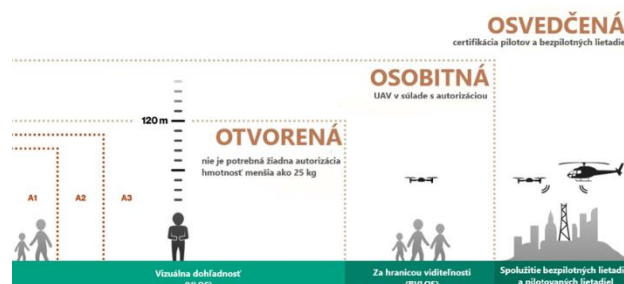
Osobitná kategória sa zameriava na rizikovejšiu prevádzku s bezpilotnými lietadlami, ktorá nie je pokrytá v „otvorenej“ kategórii. Napríklad prevádzkovanie letu vyššie ako 120 metrov nad zemou, zhadzovanie materiálu alebo použitie bezpilotného lietajúceho prostriedku s MTOM (maximum take off mass) väčšou ako 25 kg [7]. Pred samotným vykonaním prevádzky je potrebné si vyžiadať prevádzkové povolenie Dopravného úradu. Prevádzkovateľ musí pred podaním žiadosti o povolenie na prevádzku v tejto kategórii vypracovať posúdenie rizika a predložiť ho spolu so žiadosťou a spotrebnými opatreniami pre zníženia rizika. Ak Dopravný úrad usúdi, že prevádzkové riziká boli dostatočne zmiernené, udelí povolenie na prevádzku.

Osvedčené kategória je určená na prevádzku bezpilotných systémov s najvyššou úrovňou rizika a vyžaduje si certifikáciu UAS, osvedčovanie prevádzkovateľa ako aj udelenie preukazu spôsobilosti pilotovi na diaľku Dopravným úradom, aby bola zabezpečená požadovaná miera bezpečnosti [6]. Príkladom sú budúce lety bezpilotných lietadiel s cestujúcimi na palube, ako je napríklad letecké taxi, ktoré v budúcnosti budú spadať do tejto kategórie. Metóda zaistenia bezpečnosti týchto letov bude veľmi podobná tej, ktorá je využívaná v rámci pilotovanej leteckej dopravy. Pre umožnenie prevádzky v „osvedčenej“ kategórii bude nevyhnutné zmeniť a doplniť veľa leteckých predpisov. EASA (European Union Aviation Safety Agency) realizuje túto úlohu vo viacerých fázach a zameriava sa na **tri typy prevádzky**:

Typ prevádzky číslo 1 zahŕňa certifikované nákladné UAV vykonávajúce medzinárodný len IFR (Instrument flight rules) vo vzdušnom priestore tried A-C, vykonávajúce vzlet a pristátie na letiskách v právomoci EASA.

Typ prevádzky číslo 2 využíva vymedzené trasy vzdušného priestoru, v ktorom sa poskytujú služby U-Space na prevádzku v mestskom a vidieckom prostredí.

Typ prevádzky číslo 3 zaisťuje prevádzku akou je prevádzka číslo 2, ale vykonávaná lietadlom s pilotom na palube. Predpokladá sa, že sa bude vzťahovať na prvý typ leteckej taxislužby, pri ktorej bude pilot na palube. V druhej fáze bude lietadlo pilotované na diaľku – prevádzka číslo 2 [7].



Obrázok 1. Ilustračný obrázok kategórií [8]

2.2. Základné nariadenia

Európska únia aktívne pracuje na predpisoch týkajúcich sa konceptu U-Space. Agentúra Európskej únie pre bezpečnosť letectva sa podieľa na vypracovaní pravidiel pre bezpilotné lietadla, vrátane aspektov U-Space. Bolo publikovaných niekoľko nariadení týkajúcich sa regulačnej štruktúry.

Základným nariadením je **Nariadenie (EÚ) 2021/664** definujúce všetky požiadavky na zriadenie vzdušného priestoru U-Space. Stanovuje pravidlá a postupy bezpečnej prevádzky a bezpečného začlenenia UAS do systému letectva a poskytovania služieb U-Space [9]. Boli stanovené **štyri povinné služby** U-Space pre kompletnú prevádzku UAS v tomto vzdušnom priestore: **sietová identifikačná služba, georeferenčná výstražná služba, letová autorizačná služba UAS, informačná služba o letovej prevádzke** [10]. V prípade posúdenia rizika vzdušného priestoru, pre každý vzdušný priestor U-Space môžu členské štáty požadovať ďalšie služby, vrátane **služby monitorovania súladu a poveternostnej informačnej služby**.

Nariadenie (EÚ) 2021/665 pozmenilo požiadavky na poskytovateľov manažmentu letovej prevádzky alebo letových

navigačných služieb a iné funkcie siete, ktoré hovoria o manažmente letovej prevádzky vo vzdušnom priestore U-Space [11].

Na zvýšenie bezpečnosti o situačnej informovanosti sa zameriava **Nariadenie (EÚ) 2021/666**. Aby bola zaistená bezpečnosť lietania popri bezpilotných lietadlách vo vzdušnom priestore U-Space, je dôležité zdieľanie polohy lietadiel s posádkou s poskytovateľom služieb U-Space. Prostredníctvom prehľadových technológií budú pilotované lietadlá o sebe elektronicke upozorňovať a tak signalizovať svoju prítomnosť [12].

Keďže Nariadenia o U-Space nešpecifikujú potrebné prostriedky pre poskytnutie harmonizovanej implementácie, EASA vytvorila AMC (Acceptable means of compliance) a GM (Guidance material) k regulačnej štruktúre U-Space, prostredníctvom čoho sa umožňujú prostriedky na zjednodušenú implementáciu, vrátane certifikácie poskytovateľov služieb v celom európskom vzdušnom priestore, a zabezpečenie podpory pre bezpečné riadenie prevádzky bezpilotných lietadiel, ktoré možno integrovať s pilotovaným letectvom vo všetkých druhov prostredia. Je to teda najnovší stav koncepcie, systémov a technológií v oblasti U-Space [13, 14].

3. Koncept U-Space

Hlavným cieľom služieb U-Space je v prvom rade predchádzať kolíziám, či už medzi UAS navzájom alebo medzi UAS a pilotovaným lietadlom, zabezpečiť urýchlenie a trvalý pohyb prevádzky bezpilotných prostriedkov, poskytovanie informácií pre bezpečnú prevádzku a vykonávanie letov UAS, v prípade núdzových situácií ohrozujúcich ľudí, tovar alebo pilotované letectvo informovať zodpovedajúce organizácie, plnenie požiadaviek členských štátov týkajúcich sa životného prostredia, bezpečnosti a súkromia [15].

Sieťová identifikačná služba identifikuje totožnosť, polohu a trajektóriu UAS počas prevádzky [10]. Poskytuje používateľom údaje o registračnom čísle UAS, sériovom čísle modulu, geografickej polohe, vrátane nadmorskej výšky, výšky nad povrchom alebo bodom vzletu, rýchlosť, kurz trate a v prípade núdze poskytne informácie o núdzovom stave a čase, kedy boli správy generované. Všetky informácie sú aktualizované periodicky [16].

Georeferenčná výstražná služba poskytuje informácie o obmedzeniach, dočasných obmedzeniach, prevádzkových podmienkach vzdušného priestoru U-Space. Údaje sú získavané z informačných databáz, ktoré hovoria už o existujúcich zakázaných a nebezpečných oblastiach [17].

Letová autorizačná služba UAS poskytuje prevádzkovateľom UAS letové povolenie pre každý let a stanovuje podmienky daného letu. Každá žiadosť o letové povolenie UAS musí byť prijatá, skontrolovaná poskytovateľmi služby, ktorí posúdia jej úplnosť, správnosť a prednosť. Ak nie je možné udeliť prevádzkovateľovi letové povolenie, môže mu byť navrhnuté alternatívne letové povolenie. Letové povolenia sú priebežne kontrolované [13].

Informačná služba o letovej prevádzke poskytuje informácie o prevádzke z iných UAS a pilotovaných lietadiel, ktoré operujú v blízkosti UAS [6]. Ak by lietadlo s posádkou z akéhokoľvek

dôvodu prekročilo vzdušný priestor U-Space, musí poskytnúť poskytovateľom služby informácie o svojej polohe.

Z hľadiska bezpečnosti môže štát posúdiť, že sú nevyhnutné taktiež doplnkové služby, **služba monitorovania súladu** ktorá monitoruje, upozorňuje a informuje prevádzkovateľov UAS v prípade nehody s udeleným letovým povolením [10]. Ako aj **poveternostná informačná služba** podporujúca prevádzkovateľov UAS počas plánovania a vykonávania letu. Zabezpečuje tiež zlepšenie výkonnosti ďalších služieb poskytovaných vo vzdušnom priestore U-space [18].

3.1. Subjekty

Pre zaistenie bezpečnosti riadenia letovej prevádzky v U-Space, je nevyhnutné definovať povinnosti jednotlivých subjektov v tomto vzdušnom priestore. **Najdôležitejšie subjekty:**

Poskytovateľ leteckých navigačných služieb riadi letovú prevádzku a vo väčšine prípadov je zodpovedný za manažment letovej prevádzky.

Poskytovateľ leteckých prevádzkových služieb poskytuje prevádzkové služby ako je letová informačná služba alebo letisková informačná služba [19].

Poskytovateľ služieb U-Space poskytuje služby U-Space prevádzkovateľom bezpilotných lietajúcich prostriedkov, pilotom, bezpilotným lietajúcim prostriedkom alebo iným Poskytovateľom služieb. Pre kvalifikáciu Poskytovateľa služieb musí subjekt poskytovať aspoň štyri povinné služby. Pre poskytovanie služieb musí využívať informácie od poskytovateľa spoločnej informačnej služby. Zaisťuje bezpečný a efektívny pohyb lietadiel vo vzdušnom priestore U-space, ako aj koordináciu s príslušným Poskytovateľom leteckých navigačných služieb [15].

Prevádzkovateľ UAS vykonáva alebo navrhuje vykonávanie prevádzky bezpilotných lietadiel [19]. Počas prípravy prevádzky je potrebné uzavrieť zmluvu s jedným poskytovateľom služieb poskytujúcim povinné služby U-Space v danom vzdušnom priestore. Prevádzkovateľ UAS predloží formulár žiadosti o letové povolenie Poskytovateľovi služieb, prevádzka nesmie byť vykonaná, kým Poskytovateľ služieb neudelí letové povolenie [15].

Poskytovateľ spoločnej informačnej služby je kľúčovým subjektom, ktorý spracováva rôzne informácie a zaisťuje ich vymieňanie medzi všetkými subjektami s cieľom splnenia ich povinností [20].

Pre dosiahnutie vízie plne funkčného systému U-Space spoločný podnik SESAR vypracoval projekt Blueprint, v ktorom sa navrhuje implementácia v štyroch fázach **U1-U4** [9]. V každej jednotlivéj fáze sa navrhne nový súbor služieb a zároveň sa zachová udržanie a aktualizácia hlavných služieb [4].

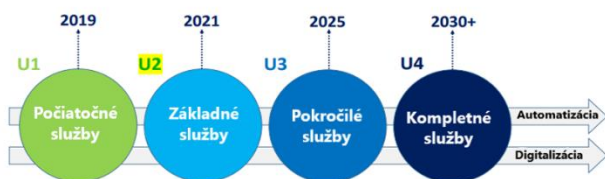
U1 fáza počiatkových služieb sa týka prvotných a kľúčových služieb ako je elektronická registrácia, elektronická identifikácia bezpilotných lietadiel a prevádzkovateľov a geografické ohraničenie vzdušného priestoru [21].

U2 fáza základných služieb pozostáva z plánovania a schvaľovania letov, monitorovania, poskytovaní prevádzkových informácií, ako aj bežnej interakcie s letovou prevádzkou [22]. V rámci realizácie základných služieb bude využitá infraštruktúra

riadenia letovej prevádzky. Vývin prevádzky vo veľmi nízkom vzdušnom priestore bude zahŕňať prevádzku v riadenom vzdušnom priestore [4].

U3 fáza pokročilých služieb je zameraná na zložitejšie situácie, ako je funkcia detekcie a vyhýbania sa prekážkam, alebo v prípade konfliktov medzi lietadlami, medzi ktorými dochádza k vzájomnému rušeniu, poskytuje automatizáciu riešenia vzniknutých konfliktov. Skladá sa z kolaboratívneho prepojenia s ATC (Air traffic control) a dynamickej kapacity manažmentu [22, 23].

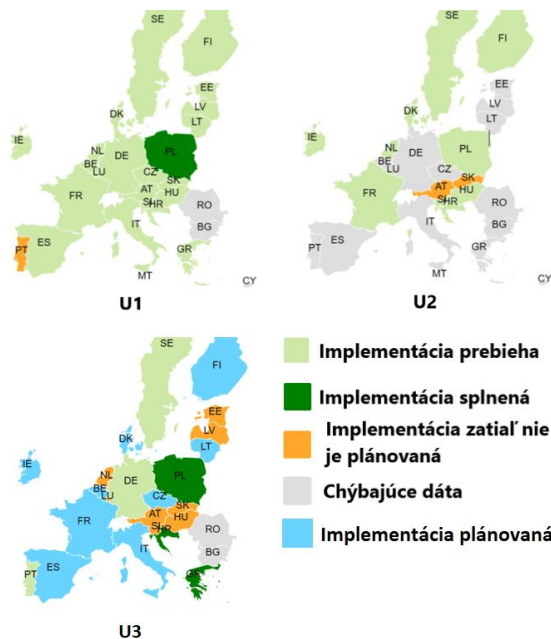
U4 fáza znamená kompletizáciu **všetkých služieb** ako aj vysokej úrovne automatizácie procesov a vzájomné prepojenie medzi lietadlami, pilotmi a inými zainteresovanými stranami [21].



Obrázok 2. Jednotlivé fázy U-Space [zdroj: Autor]

4. Implementačné riešenia

Pri analyzovaní situácie v rámci Európskej únie sa odhalilo, že Slovensko zaostáva v implementovaní oproti iným krajinám. Na Slovensku síce implementácia U1 prebieha, ale prebieha iba registrácia a zvyšné služby nie sú ešte plánované, zatiaľ kým viaceré krajiny majú minimálne jednu službu splnenú. Štát sa síce zaviazal k implementácii, ale zatiaľ absentuje. Je dôležité sa inšpirovať inými krajinami, ktoré napredujú s implementáciou zobrať si z ich implementačných riešení to najlepšie a aplikovať to na území Slovenska.



Obrázok 3. Mapa implementácie [24]

4.1. Zmena legislatívy

Povinnosťou Slovenska ako člena EÚ, je zjednotenie legislatívy s legislatívou Európskej únie. K zjednoteniu legislatívy sa pristupuje veľmi pomaly, čo poukazuje aj fakt, že registrácia prevádzkovateľov UAS, ktorá je jednou z primárnych úloh pre zjednotenie, bola spustená až 14.11.2023. Pri registrácii prevádzkovateľa UAS je nevyhnutné poistenie, bez ktorého registrácia nie je možná. Napriek tomu, že z legislatívy vyplýva povinnosť poistenia, na území Slovenska v súčasnosti žiadna poisťovňa nepoistuje. Prevádzkovatelia bezpilotných lietadiel sú tak odkázaní na poistenie v zahraničí, čo prináša otázku na zamyslenie sa nad samotnou situáciou, že aj v tomto smere by mohla nastať náprava zo strany štátu. Jedným z riešení pre zlepšenie implementačnej situácie je nahradenie Rozhodnutia Dopravného úradu 2/2019, ako aj pozmenenie niektorých častí Leteckého zákona.

4.1.1. Vymedzenie vzdušného priestoru U-Space

Momentálne je na Slovensku dostupná aplikácia MamDron prevádzkovaná OZ Mám dron, v ktorej je prístupná prvá 3D mapa prevádzky bezpilotných lietadiel, obsahujúca informácie o možnostiach využitia vzdušného priestoru na Slovensku. Keďže na Slovensku v súčasnosti chýba vymedzenie zemepisných oblastí je táto aplikácia príkladom, ako by to malo vyzeráť v otázke implementačných riešení publikovania geo-zon. Jednu časť, ktorú by zmena legislatívy mala zahrnúť, je vymedzenie vzdušného priestoru U-Space. Toto by mala mať na starosti štátna inštitúcia, ktorá by mala rozhodovať o samotnom určení zemepisných oblastí. Do úvahy sa musí brať niekoľko faktorov, ako je napríklad bezpečnosť, aby bola splnená podmienka minimalizovania kolízií, treba prihliadať na nenarušenie chránených prírodných oblastí, v miestach s vyššou mierou koncentrácie ľudí je potrebné zaistiť ochranu ľudí, majetku a súkromia. Dôležité je taktiež informovať a spojiť sa s rôznymi zainteresovanými stranami, ako sú miestne úrady. Najadekvátnejšie by bolo sprístupnenie všetkých informácií na jednej online platforme dostupnej pre všetkých užívateľov. Výsledkom by mohla byť digitálna mapa vzdušného priestoru. Vhodným krokom by mohla byť spolupráca so spomínanou aplikáciou Mamdron, prípadne vytvorenie novej aplikácie pod kompetenciou štátnej inštitúcie.

4.1.2. Spoločná informačná služba

Keďže Spoločná informačná služba je kľúčovým subjektom U-Space a v súčasnosti na Slovensku je len otázkou budúcnosti, pre napredovanie s implementáciou by sa mala práve táto služba zriadiť. Avšak na to je potrebná úprava alebo doplnenie Leteckého zákona. Je potrebná na to spolupráca orgánov civilného letectva, Ministerstva dopravy, rôznych úradov a štátnych inštitúcií. Následne vytvorenie technických opatrení a infraštruktúry, pre zdieľanie leteckých údajov, informácií o geografických zónach, sledovanie prevádzky a komunikácie medzi jednotlivými subjektami. Zároveň je dôležité zvážiť, kto z prítomných orgánov na Slovensku, by sa stal subjektom poskytujúcim Spoločnú informačnú službu. Pri skúmaní situácie v iných krajinách Európskej únie, sa do tejto pozície stavajú poskytovatelia navigačných služieb. Na Slovensku tým pádom, by mohli byť poskytovateľom, Letové prevádzkové služby Slovenskej republiky.

4.2. Vzdelávanie

Vytvorím edukačnej kampane, ktorá by jasne definovala vzdušný priestor U-Space, by sa mohlo zvýšiť povedomie tohto systému a samotných prínosov. Dôležité je poskytnúť informácie o službách, ktoré U-Space prináša, ako aj vzdelávať verejnosť o tom, v akej implementačnej fáze v rámci služieb sa Slovensko nachádza. Prezentať budúce plány a nové kroky smerujúce k postupnej implementácii. Je potrebné vytvorenie takej kampane, ktorá bude inováčná a transparentná, obsahujúca rôzne krátke videá a interaktívne obrázky. Vytvorením edukačného videa v slovenskom jazyku, ktoré by animácie vysvetľovalo, čo je U-Space, čo so sebou prináša, aké sú s ním plány na Slovensku, by mohlo byť prvým krokom k postupnému vzdelávaniu.

4.3. Spolupráca štátnych orgánov

Pre úspešnú implementáciu U-Space je kľúčová vzájomná spolupráca rôznych štátnych inštitúcií. Spolupracou sa vytvoria stratégie a plány k plynulejšej implementácii, pretože budú zohľadnené požiadavky jednotlivých štátnych inštitúcií a taktiež vedie k rýchlejšiemu prijímaniu právnych predpisov, úpravy legislatívy, ktorá je na Slovensku momentálne žiaduca. Podstatná je aj podpora zahraničnej spolupráce v oblasti U-Space, čo by vedelo prispieť k vymieňaniu skúsenosti s inými krajinami. Slovensko by sa tak inšpirovalo a dokázalo implementovať overené postupy a návrhy.

4.4. Testovanie U-Space

Viaceré krajiny Európskej únie si na svojich územiach vytvorili testovacie oblasti, ktoré tak poskytujú vizualizačné prostredie, zahŕňajúce všetky kľúčové aspekty, vrátane infraštruktúry a služieb U-Space. Testovanie zohráva dôležitú úlohu, pretože umožňuje vyskúšať rôzne scenáre, ktoré sa v budúcnosti v U-Space môžu objaviť, taktiež odhaľuje prípadné riziká a chyby. Testovacia oblasť vytvára prostredie pre podporu výskumu, vývoja a inovácií v oblasti U-Space. Avšak vytvorenie koncepcie testovacieho centra musí byť v prvom rade v súlade s legislatívou a zahŕňať vymedzenie geografických hraníc U-Space, čo v momentálnom stave na Slovensku nie je možné, preto je nevyhnutná zmena legislatívy.

5. Prípadová štúdia

Prípadová štúdia poskytuje pohľad na konkrétny príklad, ako by to na Slovensku vyzeralo po zmene legislatívy a implementovaní jednotlivých návrhov a služieb spojených s konceptom U-Space v oblasti komerčného lietania.

5.1. Zlepšená situácia

Po úprave legislatívy sa zlepšila edukácia verejnosti o koncepte U-Space prostredníctvom seminárov o využití tohto vzdušného priestoru, čím sa zvýšil počet zainteresovaných subjektov. V rámci testovania využitia možností vzdušného priestoru U-Space a rozvoja použitia UAS pre prospešné účely štátu, sa majiteľ spoločnosti zaoberajúcej sa cestnou infraštruktúrou, rozhodol integrovať bezpilotné lietadlá do systému monitorovania stavu ciest. Uplatňuje sa tu aplikácia, ktorá je integrovaná s bezpilotnými lietadlami. Zvolený pracovník, ktorý je držiteľom platného preukazu pilota bezpilotného lietadla využije pre prevádzku UAV, ktoré sú poistené, registrované v registri, majú

na viditeľnom mieste umiestnené registračné číslo. Taktiež sú vybavené modulom priamej diaľkovej identifikácie, čím je zabezpečené zdieľanie všetkých informácií, ktoré sú poskytované v danej aplikácii. Používateľ zadá konkrétne údaje o dátume, plánovanom čase letu, oblasti, výške letu do aplikácie. V aplikácii je dostupná digitálna mapa, podľa ktorej si pracovník overí, či daná cestná infraštruktúra, ktorá podlieha kontrole sa nachádza vo vymedzenej oblasti U-Space.

5.1.1. Prevádzka

- Bepilotné lietadlá vybavené kamerami lietajú nad cestným úsekom a poskytujú presné údaje o aktuálnom stave.
- Vzdušný priestor je narušený iným bezpilotným lietadlom.
- Aplikácia upozorní pracovníkov spoločnosti údržby ciest o tejto skutočnosti.
- Narušiteľ prelietava ponad cestu v blízkosti UAS spoločnosti a narušuje tak bezpečnosť vzdušného priestoru, čím sa zvyšuje riziko kolízie.
- Aplikácia pracovníkom poskytne identifikačné číslo bezpilotného lietadla, jeho polohu, polohu pilota na diaľku a ďalšie informácie, ktoré pracovníci poskytnú polícii a iným príslušným orgánom.
- Pre zaistenie bezpečnosti pracovníci prerušia kontrolu ciest do príchodu polície.
- Vďaka údaju o polohe pilota na diaľku, polícia vypátra operátora bezpilotného lietadla, prerušia jeho aktivitu a riešia s ním dôsledky jeho činnosti.
- Keď je vzdušný priestor bez hrozby nebezpečenstva pracovníci znova použijú bezpilotné lietadlá a pracujú v monitorovaní cestnej infraštruktúry, ktoré okamžite identifikujú poškodenia.
- Na Slovensku sa implementujú ďalšie služby U2, vrátane informačnej služby o počasí.
- Aplikácia upozorní pracovníkov na výskyt blížiaceho sa silného vetra.
- Bezpečnosť je prioritou, preto sa pracovníci rozhodnú monitorovanie ciest ukončiť.

Výsledkami kontroly a monitorovania cestnej infraštruktúry za pomoci U-Space a bezpilotných lietadiel, sú presnejšia identifikácia poškodenia a nedostatkov ciest, rýchlejšie odhalenie problémov a tým spojená rýchlejšia oprava, otvára sa tým možnosť digitálnej mapy cestnej siete pre plánovanie oprav, v neposlednom rade sa zvyšuje samotná bezpečnosť cestných povrchov.

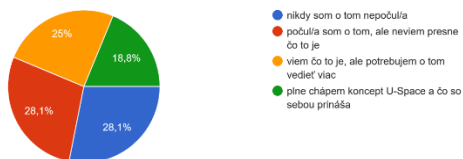
5.2. Analýza zistených skutočností

Pre zistenie úrovne povedomia o koncepte U-Space s cieľom zlepšenia edukačnej situácie v oblasti UAS a U-Space bol použitý dotazník, na ktorý primárne odpovedali piloti bezpilotných

lietajúcich prostriedkov. Dotazník obsahoval 25 otázok a počet získaných odpovedí je 32.

Jedna z otázok zisťovala aktuálne povedomie korešpondentov o koncepte U-Space. 6 odpovedali, že plne chápu koncept U-Space a čo so sebou prináša. 8 korešpondenti vedia čo je U-Space, ale potrebujú o tom vedieť viac. 9 odpovedajúci počuli o koncept U-Space, ale nevedia presne, čo znamená a napokon v rovnakom číselnom zastúpení odpovedajúcich, o tomto koncepte nikdy nepočuli. Táto otázka odhalila, že nie každému je pojem „U-Space“ známy.

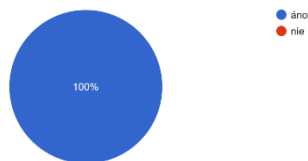
Aké je vaše povedomie o koncepte U-Space?
32 odpovedí



Obrázok 4. Dôležitosť implementovania U-Space

Dotazník taktiež obsahoval otázku, ktorá skúmala záujem o vytvorenie vzdelávacieho ilustračného videa v slovenskom jazyku o koncepte U-Space. Všetky odpovede na túto otázku boli pozitívne.

Uvítali by ste keby vzniklo vzdelávacie ilustračné video v slovenskom jazyku o koncepte U-Space?
32 odpovedí



Obrázok 5. Záujem o vzdelávacie video

Možno tvrdiť že v súčasnej situácii na Slovensku je slabá úroveň vzdelávania o koncepte U-Space, ale na druhej strane záujem zo strany verejnosti existuje, a preto zo strany štátu je kľúčové zlepšiť poskytovanie informácií verejnosti. Zároveň sa dotazníkom utvrdila dôležitosť niektorých návrhov s cieľom bezpečnej implementácie na Slovensku.

6. Diskusia

Implementácia konceptu U-Space ponúka nové výzvy v rôznych odvetviach. Preto je podstatné zhodnotenie aspektov z technického a ekonomického smeru, ako aj vyhodnotenie prínosov, výhod a prípadných nevýhod, ktoré so sebou U-Space prináša.

6.1. Technické zhodnotenie

Z technického hľadiska je dôležité vytvoriť technickú infraštruktúru, zahŕňajúcu rôzne technológie pre prevádzku a reguláciu, ktorá bude prepojená s jednotlivými systémami štátnych inštitúcií, orgánov verejnej správy, úradov a zainteresovaných strán, aby dochádzalo k vzájomnej komunikácii a zdieľaniu všetkých informácií. Dôležité je aj vytvorenie a riadenie technologickej platformy, ktorá bude

poskytovať služby U-Space. Platforma musí spolupracovať so systémami sledovania bezpilotných a pilotovaných lietadiel, aby sa predišlo kolíziám. Prepojenie siete systémov a technológií prispeje k bezpečnej a efektívnejšej prevádzke bezpilotných lietadiel, čím sa otvárajú možnosti využitia technológie UAS a v konečnom dôsledku sa vytvárajú možnosti pre celú spoločnosť. Predstavuje to základ pre implementovanie konceptu U-Space, vďaka čomu sa budú môcť poskytovať rôzne služby. Po vytvorení technologickej platformy, je podstatné vytvorenie platforiem pre vzdelávanie verejnosti. Obecne pri lietaní platí, že bezpečnosť je kľúčová, a práve tá sa dá dosiahnuť edukáciou, ktorá sa zaisťuje vytvorením vhodnej vzdelávacej platformy.

6.2. Ekonomické zhodnotenie

Implementovanie konceptu U-Space prináša samozrejme aj investičné a prevádzkové náklady. Financovanie nákladov ohľadom infraštruktúry, technologickej platformy, platformy pre vzdelávanie a s tým spojené školenia, semináre, taktiež potreba propagácie, rôzne kampane, ako aj administratívne náklady. Výdavky spojené s prevádzkou, aby U-Space mohol byť udržiavaný, vrátane nákladov na personál, monitorovanie ako aj údržbu.

Ak by sa slovenská legislatíva zjednotila s legislatívou EU, otvorili by sa možnosti financovania z fondov EU. Keby Slovensko prejavilo záujem o medzinárodnú spoluprácu s inými krajinami EÚ a takáto spolupráca by vznikla, dokázalo by sa zapojiť do rôznych projektov, ktoré by mohli prispieť k zlepšeniu situácie, ohľadom financovania a celkovému zlepšeniu implementácie na území Slovenska. Avšak nejde iba o medzinárodnú spoluprácu, ale aj národnú. Príslušné orgány musia medzi sebou spolupracovať, čo vedie k efektívnejšej komunikácii a riešeniu návrhov a riešení financovania. Príkladom je zorganizovanie informačnej kampane, čo určite predstavuje investíciu, ale práve šírením povedomia o koncepte U-Space sa dokáže zvýšiť záujem rôznych subjektov a tým sa otvoria možnosti pre spolupráce a nové partnerstvá, čo môže prispieť k možnostiam financovania a sponzorovania U-Space.

Implementácia U-Space prináša tiež nové možnosti na trhu, či už rozvoj bezpilotných lietajúcich prostriedkov a ich komerčné využitie, nové pracovné miesta, rozvíjanie poskytovania služieb, podpora digitalizácie, automatizácie, rôznych inovácií a mobilných aplikácií. Rozvojom komerčného využitia bezpilotných lietadiel, napríklad pri monitorovaní cestnej infraštruktúry sa dokážu znížiť náklady, čas, mobilita a prípadne riziká spojené s ľudským faktorom. Takto sa dokážu využívať bezpilotné lietadlá pre prospešné účely štátu a jeho občanov.

7. Záver

Analýzou súčasného stavu, ktorou sa identifikuje U-Space systém, jeho prínosy, vrátane hlavných nariadení, s čím sú spojené aj súčasné pravidlá pri prevádzke možno konštatovať, že implementácia konceptu U-Space v rámci Slovenska je dôležitá pre zaistenie bezpečného a efektívneho vzdušného priestoru.

Po preskúmaní súčasnej situácie postupného implementovania služieb v krajinách Európskej únie sa odhalilo, že Slovensko zaostáva oproti iným krajinám. Hlavným cieľom práce bolo navrhnúť súbor implementačných riešení pre realizáciu U-Space

v rámci Slovenskej republiky. Jedným z najdôležitejších návrhov je zmena súčasnej platnej legislatívy, na ktorú sa viaže vymedzenie vzdušného priestoru a definovanie kľúčového subjektu – spoločnej informačnej služby, na základe čoho je potrebné zriadenie digitálnej platformy, ktorou by sa zabezpečilo zdieľanie informácií, zlepšenie bezpečnosti ako aj ochrana ľudí, majetku, súkromia. Pre pochopenie konceptu U-Space a jeho služieb je podstatné poskytnutie verejnosti vzdelanie v tejto oblasti, napríklad prostredníctvom vzdelávacích platforiem.

Vhodným návrhom sa javí zriadenie testovacej oblasti U-Space, čím by sa podporil vývoj v oblasti U-Space a odhalili riziká, avšak bolo by to finančne náročné. Všetky návrhy sú úzko spojené so zmenou legislatívy, bez ktorej nie je možné implementovať služby U-Space, avšak kľúčovú úlohu zohráva aj vzájomná spolupráca štátnych inštitúcií. Po navrhnutí súboru riešení sa poukazuje na zjednodušenie procesov pri prevádzke pomocou konkrétneho príkladu v smere komerčnej prevádzky bezpilotných lietadiel.

Tiež možno tvrdiť, že z hľadiska ekonomického zhodnotenia má U-Space prípadne nevýhody, avšak tie sú najmä spojené s otázkou financovania, na druhej strane prináša nové možnosti a perspektívy na trhu. Pri technickom hodnotení sa kladie dôraz na infraštruktúru a zriadenie technologickej platformy, vrátane platforiem pre vzdelávanie a vývoj aplikácie, ako aj samotnú bezpečnosť.

Navrhované riešenia v oblasti legislatívy, poskytnutie edukácie, vytvorenie platforiem, ako aj samotné testovanie U-Space sú kľúčové k úspešnej implementácii. Tými to návrhmi by sa nielen zjednodušili procesy pri prevádzke bezpilotných lietadiel, ale zaistila žiaduca bezpečnosť vzdušného priestoru. Výsledky by potenciálne mohli zlepšiť súčasný stav a prispieť k bezpečnosti vzdušného priestoru na Slovensku.

Referencie

- [1] SESAR JU (2017). European Drones Outlook Study: Unlocking the Value for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2829/085259
- [2] CAPITÁN, Carlos; PÉREZ-LEÓN, Héctor; CAPITÁN, Jesus; CASTAÑO, Ángel a OLLERO, Aníbal (2021). Unmanned Aerial Traffic Management System Architecture for U-Space In-Flight Services. Applied Sciences 11. doi: 10.3390/app11093995
- [3] BARRADO, Cristina; BOYERO, Mario; BRUCCULERI, Luigi; FERRARA, Giancarlo; HATELY, Andrew; HULLAH, Peter; MARTIN-MARRERO, David; PASTOR, Enric; RUSHTON, Anthony Peter a VOLKERT, Andreas (2020). U-Space Concept of Operations: A Key Enabler for Opening Airspace to Emerging Low-Altitude Operations. Aerospace. doi:10.3390/aerospace7030024
- [4] PÉREZ CASTÁN, Javier Alberto; GÓMEZ COMENDADOR, Fernando; CARDENAS-SORIA, Ana Belén; JANISCH, Dominik a ARNALDO VALDÉS, Rosa M. (2020). Identification, Categorisation and Gaps of Safety Indicators for U-Space. Energies. Doi:10.3390/en13030608
- [5] SESAR Joint Undertaking (2017). U-Space: Blueprint. LU: Publications Office. doi:10.3390/en13030608
- [6] DOPRAVNÝ ÚRAD. Dopravný úrad. Civilné letectvo. Online. Dostupné na: <http://dopravnýúrad.sk>
- [7] EASA. Easa.europa.eu. Domains. Drones and air mobility. Online. Dostupné na: <http://easa.europa.eu/>
- [8] PARROT. Parrot. European Drone regulations. Online. Dostupné na: <http://parrot.com/>
- [9] EASA. AMC and GM to Implementing Regulation (EU) 2021/664 zo 16.12. 2022, on a regulatory framework for the U-space
- [10] ECAC (2021). UASBulletin. ECAC UAS BULLETIN, 2021, 02, s.1-6
- [11] ÚRADNÝ VESTNÍK EURÓPSKEJ ÚNIE. Vykonávacia Nariadenie Komisie (EÚ) 2021/665 z 22.4. 2021, ktorým sa mení vykonávacie nariadenie (EÚ) 2017/373
- [12] ÚRADNÝ VESTNÍK EURÓPSKEJ ÚNIE. Vykonávacia Nariadenie Komisie (EÚ) 2021/666 z 22.4. 2021, ktorým sa mení nariadenie (EÚ) č. 923/2012
- [13] EASA. AMC and GM to Implementing Regulation (EU) 2021/664 zo 16.12. 2022, on a regulatory framework for the U-space
- [14] EASA. Notice of Proposed Amendment 2021-14 from 22.4. 2021, Development of acceptable means of compliance and guidance material to support the U-space regulation
- [15] EASA. Opinion No 01/2020, 13.3. 2020, High-level regulatory framework for the U-space
- [16] ÚRADNÝ VESTNÍK EURÓPSKEJ ÚNIE. Vykonávacia Nariadenie Komisie (EÚ) 2021/664 z 22.4. 2021 o regulačnom rámci pre priestor U-space
- [17] SESAR JU (2019). U-space Concept of Operations. CORUS, 25th October 2019, edition 03.00.02, available at <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/>
- [18] BAJZIKOVA, Livia; BERNARD, Stéphane; BOUVIER, Denis; DREVILLON, Hervé; HOURCLATS, Alexa a CARRAZ, Maggy (2023). MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES, D1 – U-SPACE EVALUATION. V1.5. reference TLS/C4064/N210013
- [19] KLEZATSKÝ, Adam; HULÍNSKÁ, Šárka a KRAUS, Jakub (2020). The Role of CIS in the U-space Environment. MAD - Magazine of Aviation Development 8 (2): s. 6–10. doi: 10.14311/MAD.2020.02.01
- [20] EASA. Annex to ED Decision 2020, Draft acceptable means of compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Opinion No 01/2020 on a high-level regulatory framework for the U-space, available at: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-materials>
- [21] SESAR JU (2019). U-Space Concept of Operations. CORUS. Edition 01.01.03, available at

<https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/u-space/CORUS%20ConOps%20vol1.pdf>

- [22] SESAR JU (2022). Demonstrating the Everyday Benefits of U-Space: Initial Results from SESAR Demonstrations (2020-2022). Luxembourg: Publications Office of the European Union. doi:10.2829/486291

- [23] EUROCONTROL (2022). U-SPACE Services Implementation Monitoring Report. Single European Sky Area Member States. Edition October 2022. available at: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2022-11/eurocontrol-u-space-services-implementation-monitoring-report-2022.pdf>

- [24] SESAR JU (2020). atmmasterplan.eu. eATM Portal. U-Space Implementation Map Tool. Online. Dostupné na: <https://atmmasterplan.eu/depl/u-space>



NÁVRH TECHNICKÝCH ÚPRAV PRE ZVÝŠENIE VÝKONU PIESTOVÉHO MOTORA HERCULES TELEDYNE 4A084

Martin Bernáth
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article concerns the investigation of the possibilities of increasing the power of the Hercules Teledyne 4A084 engine. The aim of this article is the proposal of technical modifications, that could be carried out on the engine in order to increase its power. In the introduction, the reader is informed about the piston engine in question. The article further takes a look on the effect of individual piston engine systems on performance. In the final part of the work, the ideal air flow through the carburetor for the Hercules engine is calculated, then modifications are proposed, which are expected to increase its performance. The modifications mainly concern the fuel system, the ignition system and the connection of the device for supercharging the engine.

Keywords

Piston engine, Carburetor, Fuel injection, Ignition, Supercharging

1. Úvod

Cieľom tohto článku je navrhnúť vhodné technické úpravy, ktoré by bolo možné realizovať na motore Hercules Teledyne 4A084. Tieto úpravy sa budú týkať len zásahov do sústav motora, ako je napríklad palivová sústava, ktoré by nevyžadovali úpravy piestov, ojnice, kľukového hriadeľa, alebo skrine motora.

V automobilizme je možné sa často stretnúť s úpravami motorov, ktoré ako nové mali výkon len niekoľko desiatok konských síl a vhodnou úpravou boli prestavané na niekoľko násobne výkonnejšie motory. Rovnaký postup sa dá uplatniť aj v letectve, kedy z motora, ktorý nikdy nebol zamýšľaný pre použitie v lietadle sa stane motor, ktorý možno aj prevyšuje svojimi parametrami motory, ktoré boli zostrojené priamo ako pohonná jednotka lietadla.

V tomto článku bude bližšie opísaný piestový motor, ktorý bude predmetom skúmania pre zvýšenie jeho výkonu. Jedná sa o plochý štvorvalcový motor, ktorý bol v minulosti používaný Americkou armádou ako pohon pre pozemnú elektrocentrálu. Súčasťou návrhu na zvýšenie výkonu tohto motora bude aj vizualizácia návrhov, ktoré boli navrhnuté v 3D programe Autodesk Inventor a následná simulácia prúdenia vzduchu v programe Autodesk CFD.

2. Motor Hercules Teledyne 4A084

Jedná sa o zážihový motor, ktorý bol vyrábaný spoločnosťou Hercules, pre Americkú armádu, námorníctvo a letectvo. Vo veľkej miere bol využívaný ako pohon generátora elektrického prúdu. Tento motor bude predmetom návrhu úprav, ktoré budú slúžiť na zvýšenie jeho výkonu. V momentálnom stave je tento motor schopný vyvinúť 20 konských síl pri 3600 otáčkach za minútu. Jeho hmotnosť dosahuje až 120 kilogramov, čo vo výsledku znamená, že pomer výkonu a váhy je približne 0,17 konských síl na jeden kilogram váhy [1].



Obrázok 1. Motor Hercules Teledyne 4A084 [Autor]

Skladá sa zo štyroch protiľahlých valcov, umiestnených horizontálne, ktoré sú chladené vzduchom. Chladenie vzduchom je podporované ventilátorom, ktorý má za úlohu nasávať vzduch z okolia, ktorý obteká vzduchom chladené valce. Olej je uložený v olejovej vani, čiže sa jedná o motor s mokrou kľukovou skriňou. Prívod paliva do spaľovacej komory je zabezpečený pomocou membránového palivového čerpadla, ktoré pracuje v rozmedzí výstupných tlakov 3.0 – 4.5 psi. Čerpadlo pumpuje palivo do karburátora, kde je vytváraná zmes paliva so vzduchom. Pracovná zmes je následne doručená do spaľovacej komory, kde je spálená. Zapaľovanie v tomto motore je riešené pomocou magneta, ktoré vytvorí vysokonapäťový elektrický náboj, ten je privedený do spaľovacej komory cez krytú zapaľovaciu sviečku. Výhoda takejto sviečky je v tom, že zabraňuje nežiadúcemu iskreniu a rádiovému rušeniu. Na spustenie motora existujú dva systémy. Prvý, je spúšťanie pomocou elektrického spúšťača a v prípade núdze je k dispozícii mechanické spúšťanie pomocou lana [1].

3. Vplyv sústav motora na výkon

Pre návrh úprav konkrétneho motora je potrebné poznať ako vplývajú jednotlivé časti motora na jeho výsledný výkon.

3.1. Palivová sústava

Čo vplýva najviac na výkon motora pri palivovej sústave je namiešanie zmesi paliva a vzduchu v správnom pomere, rozprášenie paliva a jeho premiešanie so vzduchom a na koniec správne načasovanie privedenia paliva do valcov [2].

Pre privedenie paliva do motora a vytvorenia pracovnej zmesi sú známe nasledujúce spôsoby. Karburátor, v karburátore je zabezpečené dávkovanie paliva pomocou poklesu tlaku vo venturiho trubici. Ďalší typ prívodu paliva je pomocou vstrekovacej dýzy, alebo vstrekovacích dýz umiestnených vo vzduchovom potrubí, ešte pred tým ako je rozdelené pre jednotlivé valce, nazýva sa jednobodové vstrekovanie paliva. Tento typ prívodu paliva, vďaka vstrekovaniu paliva pod vysokým tlakom, zabezpečí lepšie rozprášenie paliva a aj je oproti karburátoru zlepšené dávkovanie množstva paliva. Tretí typ vstrekovania je viacbodové vstrekovanie, keď má každý valec vlastnú vstrekovaciu dýzu. Okrem lepšieho rozprášenia paliva je možné pozorovať aj oveľa lepšiu kontrolu nad dávkovaním paliva pre jednotlivé valce oproti jednobodovému vstrekovaniu, okrem toho je minimalizovaná šanca na kondenzáciu paliva vo vzduchovom potrubí. Posledný typ vstrekovania paliva je priame vstrekovanie. Vstrekovanie paliva v tomto prípade je najefektívnejšie a najpresnejšie, ale je využívané primárne pre dieselové motory [2].

3.2. Zapaľovacia sústava

Pri zapaľovacej sústave záleží na tom, aby bolo časovanie zapálenia zmesi nastavené tak, aby nedochádzalo k príliš skorému, alebo neskorému zapáleniu zmesi [2] [3].

Sviečky majú dve vlastnosti, ktoré ovplyvňujú rovnomernosť a efektívnosť horenia zmesi. Prvá vlastnosť závisí od typu elektród použitých na sviečke. Masívne elektródy, ktoré sú lacnejšie, ale zároveň väčšie negatívne vplývajú na zapálenie zmesi tak, že veľkosťou elektródy môže dôjsť k odtieneniu iskry a nerovnomernému zapáleniu zmesi. Drahšie elektródy z jemného drôtu, vyrábané z drahých kovov odstraňujú nevýhodu odtienenia iskry a zabraňujú nerovnomernému zapáleniu zmesi. Ďalší parameter, ktorý je pri sviečkach potrebné sledovať je veľkosť medzere medzi elektródami. Vzdialenosť medzi elektródami na konci sviečky udáva, aký dlhý bude výboj. Čím dlhší výboj sviečka vyprodukuje, tým je väčšia časť zmesi zapálená a dôjde k lepšiemu spaľovaniu. Pre poriadok je potrebné, ale uviesť, že sviečky s väčšou medzerou medzi elektródami potrebujú aj väčšie napätia na to, aby preskočil výboj a došlo k zapáleniu zmesi, ak by totižto boli použité sviečky s príliš veľkou medzerou, mohlo by dôjsť k nezapáleniu zmesi [4] [5].

3.3. Preplňovanie motora

Pre preplňovanie motora existujú dva spôsoby a to pomocou kompresora a turbokompresora. Kompresor je zariadenie na stláčanie vzduchu, ktoré je pripojené priamo na motor a odoberá z neho energiu. Kompresor je konštrukčne jednoduchší, ale ponúka vysoký odber energie pri vysokých otáčkach motora, turbokompresor eliminuje tento nedostatok

a energiu získava z výfukových plynov, ale ani ten nie je dokonalý. Pre turbokompresor je typické, že medzi dobou, keď je otvorená škrtiaca klapka a dobou kým turbokompresor začne pracovať je časová medzera. Zároveň výfukové plyny, ktoré môže turbokompresor využiť pri nízkych otáčkach motora sú nízke a teda pri nízkych otáčkach nebude efektívny [6].

4. Návrh technických úprav

Pre tento motor bude navrhnutých niekoľko úprav, pričom pozornosť bude venovaná primárne palivovej sústave motora, preplňovaniu motora a nakoniec aj zapaľovacej sústave.

4.1. Výmena karburátora za väčší

Pre takýto návrh je potrebné zistiť, či je prietok vzduchu cez pôvodný karburátor dostatočný. Prvý predpoklad na zistenie, či je prietok vzduchu cez pôvodný karburátor dostatočný je, to, že je zistený ideálny prietok vzduchu cez karburátor pre daný motor. Táto informácia bude ďalej potrebná pre výber vhodnej náhrady karburátora.

Pre výpočet ideálneho prietoku vzduchu cez karburátor sú potrebné nasledujúce údaje. Je potrebné poznať objem daného motora, ktorý je možné vypočítať zo zdvihu piestu a vrtania valca. Na danom motore bolo zistené, že jeho zdvih sa rovná približne 82 milimetrov. Z príručky pre údržbu motora je známe vrtanie, ktoré je zhruba 76 milimetrov. Tieto údaje určujú, že objem motora je 1500 kubických centimetrov. Keďže je výpočet pre ideálny prietok vzduchu cez karburátor počítaný v kubických stopách za minútu, je nutná premena jednotiek z kubických centimetrov na kubické palce, to je približne 91,5 kubických palcov. Ako ďalší potrebný údaj pre výpočet ideálneho prietoku vzduchu cez karburátor je maximálny počet otáčok kľukového hriadeľa za minútu. Keďže tento údaj nie je známy a je známy len údaj, pri akých otáčkach pracuje tento motor s najvyšším výkonom, bude pre tento výpočet využitý len dostupný údaj o otáčkach motora. Ako posledný údaj je objemová efektívnosť, ktorá, keďže nie je známa bude daná ako 100 percent a vo vzorci bude mať hodnotu 1 [1].

Vzorec na výpočet ideálneho prietoku vzduchu cez karburátor je nasledujúci:

$$CAF = \frac{V \times RPM \times VE}{3456}$$

CAF – Ideálny prietok vzduchu cez karburátor, v kubických stopách za minútu

V – objem motora, zadaný v kubických palcoch

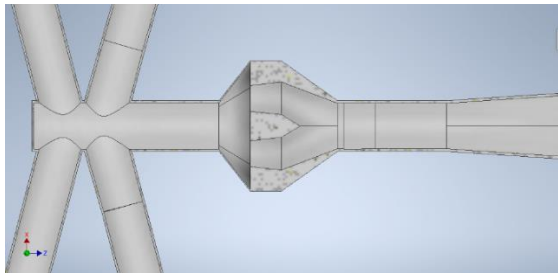
RPM – Maximálne otáčky motora za minútu

VE – Objemová efektívnosť, udávaná v hodnotách 0-1

3456 – Konštanta pre štvordobé piestové motory [7]

Po dosadení údajov do vzorca bol výsledný prietok vzduchu 95 kubických stop za minútu. Karburátor ohodnotený prietokom vzduchu, ktorý najbližšie zodpovedá potrebám motora 4A084 je karburátor Stormberg 81. Stormberg 81 je avšak už karburátor, ktorý má dve venturiho trubice s priemerom 20,5 milimetra a dosahuje 116 kubických stop za minútu. Pôvodný karburátor má najužšie miesto len o 6 milimetrov širšie, ako vybraný karburátor Stormberg 81, teda je predpoklad, že prietok

vzduchu cez momentálne pripojený karburátor je nedostatočný, keďže síce je jeho najužší bod menší, ako u karburátoru Stormberg 81, ale Stormberg 81 disponuje dvomi venturiho trubicami, čo mu zabezpečuje lepší prietok vzduchu. Pripojenie vybraného karburátora môže byť problematické z pohľadu rôzneho tvaru vzduchového potrubia a výstupu z karburátora. Preto je potrebná inštalácia konektora, ktorý by spájal výstup z karburátora do jedného potrubia, namiesto dvoch. Na nasledujúcom obrázku je zobrazený rez modelom karburátora Stormberg 81 namodelovaného pomocou informácií dostupných na oficiálnej stránke výrobcu karburátora [8].



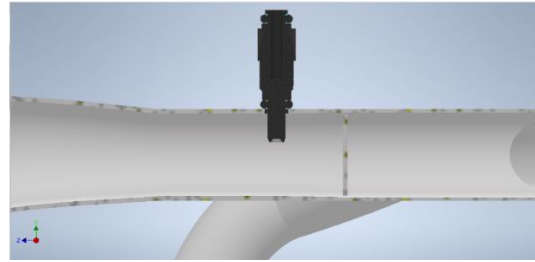
Obrázok 2. Karburátor Stormberg 81 pripojený k motoru Hercules Teledyne 4A084 [Autor]

4.2. Výmena karburátora za vstrekovanie paliva

Ďalšou možnosťou ako zabezpečiť vyšší výkon motora je výmena karburátora za vstrekovanie paliva. Existujú dve možnosti vstrekovania paliva, ktoré sú vhodné na výmenu karburátora v tomto prípade, jednobodové vstrekovanie paliva a viacbodové vstrekovanie paliva. Priame vstrekovanie paliva bolo vylúčené, keďže na hlavách valcov sa nenachádza priestor na vyvrtanie otvorov pre inštaláciu priameho vstrekovania paliva. Na ilustráciu bol použitý 3D model vstrekočača fj480 používaného na automobiloch Dodge Viper, ktorý je voľne dostupný na stránke Grabcad.com [2].

4.2.1. Výmena karburátora za jednobodové vstrekovanie paliva

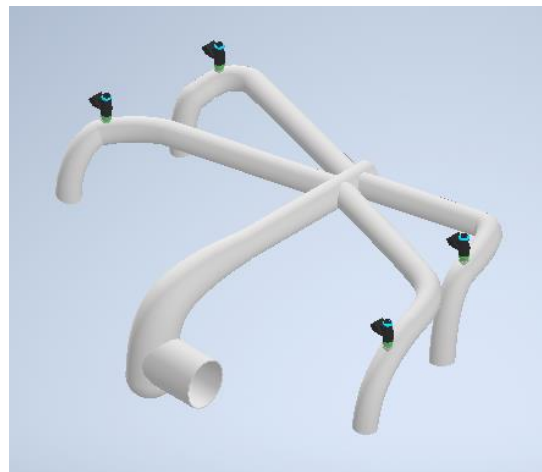
Pri výmene karburátora za vstrekovanie paliva je toto najjednoduchšia z možností. V tomto prípade by sa jednalo iba o výmenu karburátora za škrtiacu klapku s vstrekočačom paliva, ktorý by ústil tesne pred škrtiacou klapkou. Ako škrtiacu klapku je možné využiť škrtiacu klapku od spoločnosti Jenvey, SS 32-38 mm spigot body 1 injector XX. Túto škrtiacu klapku, ako už jej názov naznačuje, je možné použiť v rozsahu veľkostí vzduchového potrubia od 32 milimetrov po 38 milimetrov, poprípade ponúka výrobca možnosť výroby škrtiacej klapky na mieru. Táto škrtiacu klapku je už od výroby vybavená jedným vstupom pre vstrekovanie paliva. Na vizualizáciu tohto návrhu bol vytvorený v programe Autodesk Inventor model vzduchového potrubia, kde bol vymenený karburátor za jednobodové vstrekovanie so škrtiacou klapkou. Hlavnou výhodou jednobodového vstrekovania oproti karburátoru je lepšia kontrola nad dávkovaním paliva do motora a lepšia atomizácia paliva. Pre kontrolu nad dávkovaním paliva by bolo potrebné zaviesť aj ECU, teda elektronickú riadiacu jednotku, ktorá riadi vstrekovanie paliva do motora [9] [10].



Obrázok 3. Rez 3D modelu jednobodového vstrekovania [Autor]

4.2.2. Výmena karburátora za viacbodové vstrekovanie paliva

Rovnako ako v predchádzajúcom prípade sa jedná o výmenu karburátora za škrtiacu klapku. Vstrekočače je potrebné umiestniť pred každý nasávací ventil, do kolien vzduchového potrubia pre ilustráciu návrhu bola taktiež vytvorená upravená verzia pôvodného modelu vzduchového potrubia. Tento typ vstrekovania je riadený elektronickou riadiacou jednotkou, ktorá je nutná pre synchronizáciu vstrekovania paliva s motorom. Využila by sa škrtiacu klapku od firmy AT power. Predchádzajúca klapka bola prispôbená pre jednobodové vstrekovanie paliva, ale táto klapka nemá priestor na umiestnenie vstrekočača paliva, je teda vhodná pre viacbodové vstrekovanie. Rozmer vybranej škrtiacej klapky je 38 milimetrov. Toto zabezpečí kompatibilitu, čo sa týka veľkosti škrtiacej klapky a veľkosti vzduchového potrubia. Kým predchádzajúci návrh by mal len jednu výhodu oproti použitiu karburátora, tento systém okrem lepšieho rozprášenia paliva ponúka väčšiu kontrolu nad časovaním vstrekov paliva pre jednotlivé valce a menšie riziko na kondenzáciu paliva vo vzduchovom potrubí [9] [11].



Obrázok 4. Vizualizácia návrhu viacbodového vstrekovania [Autor]

4.3. Simulácie CFD

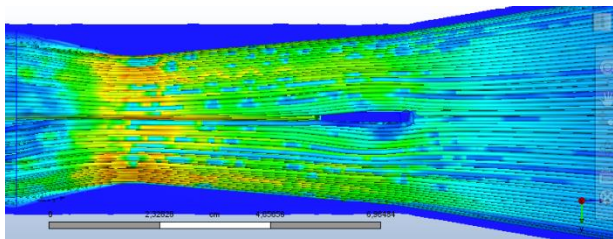
Pre overenie toho, či by došlo k zlepšeniu prietoku vzduchu cez karburátor, poprípade novú škrtiacu klapku je potrebné simulovať prúdenie vzduchu vo vzduchovom potrubí.

Na simulovanie prúdenia vzduchu vo vzduchovom potrubí bol použitý program Autodesk CFD. Aby bol tento program schopný spracovať daný model museli byť časti vstupu vzduchu do motora a výstupu vzduchu do jednotlivých valcov značne zjednodušené, rovnako pri návrhu so vstrekaním paliva

nemohol byť simulovaný prietok vzduchu aj so vstrekovacou dýzou.

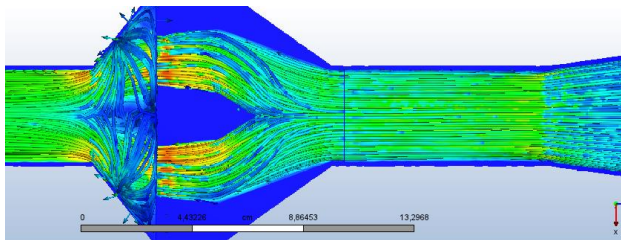
Všetky simulácie prebiehali pri rovnakých podmienkach, ktoré počítali s poklesom tlaku o 0,1 bar a plne otvorenou škrtiacou klapkou. Na vstupe do vzduchového potrubia bol tlak vzduchu 1 bar a na výstupe bol tlak vzduchu 0,9 bar. Výsledkom týchto simulácií je pozorovanie, pomocou prúdnic, k akým veľkým turbulenciám a teda stratám dôjde pri prúdení cez jednotlivé verzie karburátora, alebo škrtiacej klapky.

Ako prvé prebehla simulácia pôvodného karburátora. Pri tejto simulácii bolo zistené, že dôjde len k veľmi malým turbulenciám tesne za škrtiacou klapkou, čo je ale, ako je možné vidieť neskôr, prípad u všetkých škrtiacich klapiek. Ďalšie malé turbulencie vznikli pri opätovnom rozširovaní sa enturiho trubice.



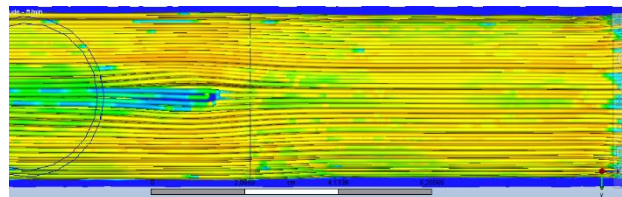
Obrázok 5. Simulácia prietoku vzduchu pôvodného karburátora [Autor]

Druhá simulácia bola simulovaná s vymeneným karburátorom, Stormberg 81. Táto simulácia preukázala, že pri použití prepojenia karburátora a vzduchového potrubia dochádza, vplyvom prudkého zalomenia obtekaného profilu k výrazným turbulenciám. Teda aj napriek tomu, že tento karburátor bol podľa výpočtu takmer ideálny, pri implementácii na tento motor v danom riešení sa predpokladá že by dochádzalo k príliš veľkým stratám a teda by takáto úprava mala skôr negatívny dopad na výkon motora.



Obrázok 6. Simulácia prietoku vzduchu karburátora Stormberg 81 [Autor]

Ako tretia a posledná simulácia prebiehala pre prípad, keď by bol karburátor vymenený za škrtiacu klapku a vstrekovanie paliva, buď jednobodové, alebo viacbodové. Táto simulácia sa ukázala, ako taká, pri ktorej nedochádzalo ani k miernym turbulenciám v sledovanom úseku, preto aj vďaka poznatkom z týchto simulácií, by bolo najvhodnejšie použitie vstrekovania paliva a nie výmena karburátora za väčší.



Obrázok 7. Simulácia prietoku vzduchu cez škrtiacu klapku vstrekovania paliva [Autor]

4.4. Pridanie preplňovania motora

Pridanie preplňovania motora je spôsob, ako sa dá výrazne zvýšiť výkon motora. Pre tento motor by bolo doplnenie kompresora lepšie ako doplnenie turbokompresora a to z nasledujúcich dôvodov. Prvý dôvod je, to že kompresory pracujú aj za nízkych otáčok a nárast výkonu na motore je okamžitý. Druhý dôvod je to, že pri týchto návrhoch nie je hľadanie na spotrebu paliva, ale len na zvýšenie výkonu motora, tým je eliminovaná ďalšia výhoda turbokompresora nad kompresorom a to je úspora paliva. Ako tretí dôvod je jednoduchosť konštrukcie kompresora oproti turbokompresoru. Posledný dôvod, prečo je kompresor vhodný pre tento typ motora je to, že tento motor pracuje pri nízkych otáčkach a teda sa predpokladá, že odber energie z motora na pohon kompresora bude nízky [6] [12] [13].

4.5. Výmena sviečok

V poslednom rade by bolo navrhnuté vymeniť momentálne použité sviečky, za sviečky URHB36S Fine Wire. Tieto sviečky, by mali byť vhodnejšie, ako momentálne použité, z toho dôvodu, že sa už nejedná o masívnu elektródu, ale o elektródu vyrobenú z jemného drôtu, čo by malo zabezpečiť rovnomernejšie zapálenie zmesi a teda aj lepšie horenie. Vďaka efektívnejšiemu horeniu je možné dostať z rovnakého množstva paliva viac energie, čiže by malo dôjsť k zvýšeniu výkonu motora [4] [14].

5. Záver

V tomto článku boli zhodnotené a navrhnuté vhodné úpravy sústav piestového motora Hercules Teledyne 4A084, tak aby bol teoreticky, výkon motora zvýšený. Boli navrhnuté úpravy, ktoré sa primárne týkali úpravy palivovej sústavy motora, v tomto smere bolo zistené, že ako vhodná úprava pre tento motor bude výmena karburátora za viacbodové vstrekovanie palivom, ktoré má výhody ako oproti karburátoru, tak aj oproti jednobodovému vstrekovaniu paliva.

Medzi ďalšími vhodnými návrhmi boli uvedené pridanie preplňovania motora pomocou kompresora a nakoniec výmena pôvodnej sviečky za sviečku z jemného drôtu zabezpečujúcu rovnomernejšie spálenie zmesi.

Referencie

- [1] HEADQUARTERS, DEPARTMENT OF THE ARMY, THE AIR FORCE, AND THE NAVY, (1990), engine, gasoline, 20 hp, military standard models (model 4a084-2, nsn 2805-00-952-3926) (model 4a084-3, nsn 2805-00-872-5972) (model 4a084-4, nsn 2805-01-276-5947), A R M Y T M 9 - 2 8 0 5 - 2 5 9 - 1 4

- [2] BELL, A. Graham, (1997) Modern engine tuning U.S.A., Haynes pub group, ISBN 978-0854299782
- [3] KŘÍŽ, J. (2008). Pohonná jednotka . Žilina: vydavateľstvo-EDIS, ISBN 978-80-8070-872-6
- [4] RODRIGUEZ, Charles L. (2016). Module 16 Piston engine. Tabernash: Aircraft technical book company, ISBN 978-1941144152
- [5] NGKSPARKPLUGS, (bez dáta), Gapping and indexing, Online In: ngksparkplugs.com. Dostupné na: <https://ngksparkplugs.com/en/resources/gapping-and-indexing>
- [6] BANISH, Greg Engine management advanced tuning, North Branch, CarTech, ISBN 978-1-932494-42-6
- [7] HECKMAN, Kurt (2022). Carburetor air flow, Online In: [vcalc.com](https://www.vcalc.com). Dostupné na: <https://www.vcalc.com/wiki/vcalc/carburetor-air-flow>
- [8] STROMBERG-97 (bez dáta). Sometimes less is more the new 81 from stormberg. Online In: stromberg-97.com. Dostupné na: <https://stromberg-97.com/information/81-learn-more-about-less/>
- [9] SHARMA, Manjul (2022), Types of fuel injection, Online In: [spinny.com](https://www.spinny.com). Dostupné na: <https://www.spinny.com/blog/index.php/types-of-fuel-injection-systems/>
- [10] JENVEY (bez dáta). SS 32-38mm spigot body 1 injector XX. Online In: [jenvey.co.uk](https://www.jenvey.co.uk). Dostupné na: <https://www.jenvey.co.uk/throttle-bodies-and-components/throttle-bodies/ss-spigot-individual-body/ss-32-38mm-spigot-body-1-inj-xx-ssxx-xx-xx1s>
- [11] ATPOWER (bez dáta). Single throttle body (38mm bore) – (NA engine). Online In: [atpower.com](https://www.atpower.com). Dostupné na: <https://www.atpower.com/products/single-throttle-body-38mm-bore-na-engine>
- [12] SHARMA, Manjul, (2022), Turbocharger vs Supercharger – Which one is better?, Online In: [spinny.com](https://www.spinny.com). Dostupné na: <https://www.spinny.com/blog/index.php/turbocharger-vs-supercharger/>
- [13] CARTHROTTLER (2016). Engineering explained: 6 different types of turbocharger and the advantages of each setup, Online In: [carthrottle.com](https://www.carthrottle.com). Dostupné na: <https://www.carthrottle.com/news/engineering-explained-6-different-types-turbocharger-and-advantages-each-setup>
- [14] TRANSAIR (bez dáta). Tempest Spark Plug URHB36S Fine Wire. Online In: transair.co.uk Dostupné na: <https://transair.co.uk/aircraft-and-airfield/aircraft-maintenance/aircraft-spark-plugs/tempest-aircraft-spark-plugs/tempest-spark-plug-urhb36s-fine-wire>



KONŠTRUKČNÁ OPTIMALIZÁCIA ANTÉNNYCH SYSTÉMOV UAS

Barbora Bernátová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

In this scientific article, we will focus on the impact of various material on radio signal attenuation. In the theoretical part, we will take a closer look at the history of unmanned aerial systems, basic types of unmanned aerial vehicles and their practical usage. Furthermore, this paper describes the advantages of using the UAV for calibration the ILS and describes how electromagnetic signal transmission works. In preparation for the practical part, the article explains frequency bands and antennas, used in UAV communication. In the experimental part, the properties of individual materials and their impact on the performance of the radio modules are analysed. The outcome of the work is an analysis of signal attenuation measurements at three different frequencies. The measurement results showed that the greatest signal attenuation in each case was caused by the carbon due its conductivity. In terms of strength and permeability, we found that the PET-G cover increased the signal strength compared to the measurements without the cover. This analysis may helps in the design of covers for antenna systems and the UAV construction that ILS will calibrate in the UHF frequency band.

Keywords

Unmanned Aerial Systems, ILS, Antenna system, Radio signal.

1. Úvod

Odvetvie bezpilotných systémov (UAS) je v letectve pomerne mladé, no jeho potenciál je v civilnej aj obrannej oblasti rýchlo napredujúci. Technológia UAS sa rýchlo rozvíja a našla uplatnenie pri prieskume rôznych oblastí, monitorovaní, záchranných úkonoch a taktiež aj kalibrácii leteckých systémov.

UAS je súhrn všetkého, čo zabezpečuje fungovanie bezpilotného prostriedku (UAV), vrátane systému GPS, kamery, pozemnej stanice a riadiaceho systému, ktorý funguje ako komunikačný kanál medzi vysielačom a UAV [20]. Štandardne bezpilotný letecký systém je zložený z troch hlavných zložiek:

- Autonómny alebo človekom ovládaný riadiaci systém alebo vysielač,
- Bepilotné lietadlo (UAV),
- Systém príkazov a riadenia, označovaný ako systém komunikácie medzi vysielačom a UAV [21].

1.1. Delenie UAV

Bepilotné prostriedky sa klasifikujú podľa hmotnosti, spôsobu riadenia a podľa typu krídla. Nasledujúci text sa zameriava na delenie UAV, z hľadiska nosných plôch.

1.1.1. Bezpilotný prostriedok s pevnou nosnou plochou

UAV s pevným krídlom je najvhodnejším bezpilotným prostriedkom na dlhý dolet s väčšou rýchlosťou. Aerodynamický tvar krídla umožňuje plynulé obtekanie vzduchu a tým vzniká

rozdiel tlakov na hornej a dolnej časti krídla. Rozdiel tlakov vytvára vztlačovú silu, potrebnú na udržanie sa vo vzduchu. UAV s pevným krídlom sú využívané nielen na komerčné a obranné účely, ale aj vo vedeckom odvetví, ako je kartografia, stavebníctvo a lesníctvo. Nevýhodou bezpilotných lietadiel s pevným krídlom je, že na vzlet vyžadujú vzletovú a pristávaciu dráhu. Okrem toho takéto UAV je schopné letieť len smerom dopredu, takže nemá rovnaké manévrovacie schopnosti ako rotorové UAV [1]. Pri lete UAV s pevným krídlom pôsobia na konštrukciu sily:

- Aerodynamický vztlak (vertikálna zložka sily)
- Aerodynamický odpor (pôsobí v horizontálnej osi UAV)
- Tiažová sila (vertikálna sila pôsobiaca nadol)
- Ťah (silá, ktorá poháňa UAV dopredu)
- Valivý odpor (sila vznikajúca pri dotyku podvozku s dráhou) [2]

1.1.2. Viacrotorové bezpilotné prostriedky

Viacrotorové UAV využívajú rotujúce krídla na vytváranie vztlaku. Takéto UAV sa dokážu vznášať and jedným miestom, poskytujú lepšiu manévrovateľnosť počas letu. Avšak majú obmedzený výdrž a rýchlosť, čo ich robí nevhodnými pre rozsiahle prieskumy a mapovanie [3].

1.1.3. Hybridné systémy a ornitoptéry

Hybridné UAV kombinujú vlastnosti pevných krídel a rotorov. Dokážu vertikálne vzlietať a pristávať ako multikoptéry, no vďaka aerodynamickému profilu krídel dokážu letať na dlhšie

vzdialenosti. Ornitoptéry napodobňujú let vtákov alebo hmyzu a používajú kývavé nosné plochy [3].

1.2. História bezpilotných prostriedkov

História bezpilotných systémov siaha až do 19. storočia, kedy Rakúsko použilo balóny bez posádky na bombardovanie Benátok. Tieto balóny, nesúce 11 až 14 kg výbušniny, mali dopadnúť na určené miesto a vybuchnúť. Aj keď útok kvôli náhlej zmene vetra zlyhal, ovplyvnil budúci vývoj UAS.

Prvý bezpilotný prostriedok s rádiovým navádzacím systémom vyvinul Archibald Low počas prvej svetovej vojny. Táto technológia, ktorá nahradila pilota operátorom na zemi, sa v praxi neuplatnila, ale vďaka inovatívnej myšlienke je A. Low považovaný za otca rádiových navádzacích systémov.

Najznámejším UAV druhej svetovej vojny bola nemecká raketa V-1. Tieto riadené strely, používané na demoralizáciu britskej spoločnosti, využívali autopilota na reguláciu výšky a rýchlosti letu. Autopilot bol vybavený gyroskopmi, kompasom a barometrom pre riadenie sklonu, náklonu, smeru výšky.

Vo Vietnamskej vojne boli UAV prvýkrát použité na prieskumné účely, pretože špiónážne satelity a lietadlá SR-73 Blackbird v tom čase ešte neboli pripravené na prevádzku.

Prelom nastal v 70. rokoch minulého storočia, kedy sa UAV stali dostupnejšími pre verejnosť. Rádiom riadené komponenty boli minimalizované, a to vzbudilo záujem vlastníť rádiové ovládaný model, čo umožnilo rýchlejší rozmach UAV.

V roku 2006 bolo prvýkrát povolené komerčné používanie UAV, čo má za následok prudký nárast záujmu a dopytu verejnosti po bezpilotnom prostriedku [4].

2. Antény systém UAV

Vzhľadom na to, že cieľom práce je meranie priepustnosti signálov, je nevyhnutné vysvetliť základné typy antén a pochopiť šírenie elektromagnetických vln. Anténa je kľúčovým prvkom v bezdrôtovej komunikácii, umožňujúca vysielať alebo prijímať elektromagnetických vln. Antény by mali byť umiestnené tak, aby minimalizovali aerodynamický odpor a elektromagnetické interferencie od iných elektronických zariadení na palube, ktoré by mohli ovplyvniť kvalitu signálov, a zároveň by mali byť chránené pred možnými poškodeniami, ktoré by mohli nastať počas vzletu alebo pristávania. Umožňujú bezpilotným prostriedkom komunikovať s riadiacou stanicou na zemi a prenášať dôležité dáta, ako je video, GPS, informáciu o polohe a výške a podobne.

2.1. Šírenie elektromagnetických vln cez materiály

Elektromagnetické vlny vznikajú kmitaním elektrického náboja a majú elektrickú aj magnetickú zložku. Prenášajú svoju energiu cez vákuum rýchlosťou $3 \cdot 10^8$ m/s. Keď elektromagnetická vlna narazí na atómy materiálu, energia tejto vlny sa absorbuje. Absorpcia energie spôsobuje, že vibrujúce elektróny v atóme vytvoria novú elektromagnetickú vlnu. Hoci tieto vibrácie prebiehajú len veľmi krátky čas, oneskorujú pohyb vlny cez médium. Akonáhle je energia elektromagnetickej vlny opätovne vyžiarená atómom, prechádza malou oblasťou medzi atómami, kde sa opakovane absorbuje a vyžiari. Tento proces absorpcie a reemisie spôsobuje, že výsledná rýchlosť elektromagnetickej

vlny je menšia, ako rýchlosť šírenia elektromagnetickej vlny vo vákuu [5].

Výber materiálu má významný vplyv na útlm signálu, a preto je dôležité zhodnotiť vlastnosti materiálov a vybrať ten, ktorý je najvhodnejší pre danú aplikáciu.

2.1.1. Balzové drevo

Balzové drevo je jedným z najľahších materiálov na svete s veľmi nízkou hustotou, ktorá sa v závislosti od rôznych druhov pohybuje od 40 do 340 kg/m³. Okrem nízkej hmotnosti, má značnú odolnosť voči ťahu, tlaku a ohybu a zároveň je balzové drevo veľmi pružné [6].

2.1.2. Polyaktidové vlákno a PET-G

Polyaktidové vlákno (PLA) alebo kyselina polymliečna je biologicky odbúrateľný plast, získaný z biologicky odbúrateľných zdrojov (kukuričný škrob alebo cukrová trstina), ktorý sa používa pri modelovaní UAV pomocou 3D tlačne. Hlavnou nevýhodou PLA je jeho nedostatočná pevnosť, ktorú ovplyvňuje príľnavosť vrstiev, ktorá vzniká pri vyšších teplotách tlače.

Polyetyléntereftalát (PET) alebo upravená verzia PET-G, pričom „G“ znamená „modifikovaný glykol“, ktorého výsledkom je pevný materiál, ktorý odoláva vysokým teplotám, UV žiareniu a podobne [7].

2.1.3. Extrudovaný polystyrén

Tento ľahký extrudovaný penový polystyrén je odolný voči mechanickému zaťaženiu, dokáže znieť zaťaženie v tlaku 300 kPa a je vhodný na výrobu modelov, a na všeobecné modelárske aplikácie [8].

2.1.4. Uhlíkové vlákno

Uhlíkové vlákna sú v leteckom priemysle známe svojou pevnosťou, ľahkosťou a tuhosťou a vodivosťou. Pre elektrickú vodivosť platí, že uhlíkové vlákna budú lepšie viesť elektrickú energiu paralelne, so smerom vlákna. Väčšina kompozitných štruktúr sa vyrába ukladaním vrstiev v rôznych orientáciách tak, aby sa dosiahli potrebné fyzikálne požiadavky na zaťaženie. Preto kompozity z uhlíkových vlákien vykazujú vysokú vodivosť v rovine, ale vodivosť cez hrúbku je nižšia [6].

2.1.5. Sklolaminát

Sklolaminát nie je magnetický ani elektrický vodivý, a preto je sklenené vlákno z väčšej časti transparentné pre rádiové vlny a elektromagnetické signály. Sklolaminát ponúka množstvo výhod z hľadiska jeho pevnosti, odolnosti a je skvelou voľbou ako ochranný kryt pre antény a iné telekomunikačné zariadenia [9].

2.2. Charakteristika frekvenčných pásiem

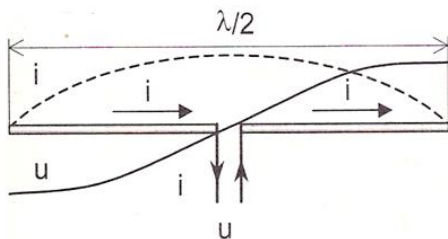
Frekvenčným pásmom označujeme špecifický rozsah frekvencií v elektromagnetickom spektre. Toto spektrum sa delí na pásma od veľmi nízkych frekvencií (VLF), až po extrémne vysoké frekvencie (EHZ). Každé frekvenčné pásmo má hornú a dolnú hranicu. Na prenos bezdrôtového signálu pre rôzne účely sú pridelené rôzne frekvenčné pásma tak, aby umožňovali

vzájomnú koexistenciu a využívanie bez chaosu. Frekvencia a vlnová dĺžka sú tiež v nepriamom vzťahu, čím vyššia je frekvencia, tým kratšia je vlnová dĺžka. Pri výbere antény pre bezpilotný prostriedok je dôležité zvážiť frekvenčné pásmo, v ktorom bude UAV pracovať. Rôzne typy antén sú navrhnuté tak, aby efektívne pracovali v rôznych frekvenčných pásmach, a preto si ďalej vysvetlíme základné typy antén [10].

2.2.1. Všesmerová anténa

Je to typ antény, ktorá prijíma alebo vysiela signály vo všetkých smeroch, teda vytvárajú 360° vyžarovací diagram v tvare šišky, ktorý zabezpečuje čo najširšie pokrytie signálom [11].

Jednou z najjednoduchších a najrozšírenejších všesmerových antén je dipólová anténa, ktorá sa vyznačuje svojou jednoduchou konštrukciou a efektívnosťou. Ako už názov napovedá, dipólová anténa sa vo svojej základnej konštrukcii skladá z dvoch vodivých prvkov (zvyčajne tyče alebo kovové drôty). Tieto vodivé prvky sú oddelené izolátorom a napájané na koaxiálny kábel, ktorým prechádza elektrický prúd v oboch vodičoch. Dĺžka prvkov je práve polovica vlnovej dĺžky. Na oboch koncoch dipólu je maximum striedavého napätia U a uprostred preteká maximálny striedavý prúd I . Teda pozdĺž anténneho vodiča nie je rozloženie prúdu rovnomerné, ale klesajúce. To znamená, že všetky časti dipólu nevyžarujú vysokofrekvenčnú energiu s rovnakou účinnosťou, pričom dĺžka dipólu je rovná polovici vlnovej dĺžky, ak je dipól rezonančný. Rezonancia nastáva, keď sa elektrický signál šíri z jedného konca vodiča na druhý a späť za rovnaký čas, ako je perióda jedného cyklu frekvencie [13].



Obrázok 1. Pribeh striedavého prúdu a napätia v dipóle [14]

2.2.2. Smerová anténa

Smerová anténa vysiela alebo prijíma signály len v určitom smere, teda sústreďujú vysokofrekvenčnú energiu do jedného smeru. Vďaka tomu sú výkonnejšie ako všesmerové antény a vhodnejšie na prenos na veľké vzdialenosti [15].

Yagi-Uda anténa je vhodná pre situácie, kedy je potrebný vysoký zisk a malý uhol vyžarovania. Anténa sa skladá z dipólu, reflektora a direktora [16].

2.3. Kalibrácia ILS pomocou bezpilotného prostriedku

ILS je základným navigačným systémom, ktorý umožňuje pilotom automaticky pristáť s lietadlom za zníženej viditeľnosti, počas letov podľa prístrojov (IFR). Na udržanie certifikácie ILS, musia letiská vykonávať pravidelné kalibračné kontroly, ktoré

zahŕňajú lety s posádkou a pozemné merania. Avšak tieto operácie majú svoje obmedzenia, ako napríklad vysoké finančné náklady a negatívny vplyv na životné prostredie pri leteckých kontrolách, zatiaľ čo pozemná operácia je obmedzená z hľadiska dosiahnutej vzdialenosti a výšky. Pozemné kalibračné operácie ILS sa vykonávajú pomocou stožiarov, ktoré nesiahajú vyššie ako približne 25 metrov od zeme. Použitie bezpilotných prostriedkov na kalibráciu ILS prináša úsporu času a nákladov, zníženia emisií a hluku, zvýšenie kapacity letiska rozšírenie pozemných meraní ILS. ILS sa skladá z lokalizéru a zostupový maják [17].

2.3.1. Lokátorová anténa

Lokalizér vysiela veľmi krátke vlny na frekvencii 108,10 – 111,95 MHz, avšak frekvencia lokalizéru je len na nepárnych desiatinných číslach, s odstupom kanálov 50 kHz [18]. Výsledná veľkosť lokátorovej antény, pracujúcej vo VHF pásme, bude 1,30 m a teda rameno dipólu bude zodpovedať dĺžke 0,65 m.

2.3.2. „Glideslope“ anténa

Zostupový maják zabezpečuje pre pilota vertikálne navádzanie na dráhu. Anténny systém kooperujúci s pozemným UHF vysielačom pracuje v pásme 329,30 – 335,00 MHz, s odstupom medzi jednotlivými kanálmi 50 kHz [18]. Výsledná veľkosť „glideslope“ antény je 0,44 m, pričom každé rameno dipólu bude mať približne 20 cm.

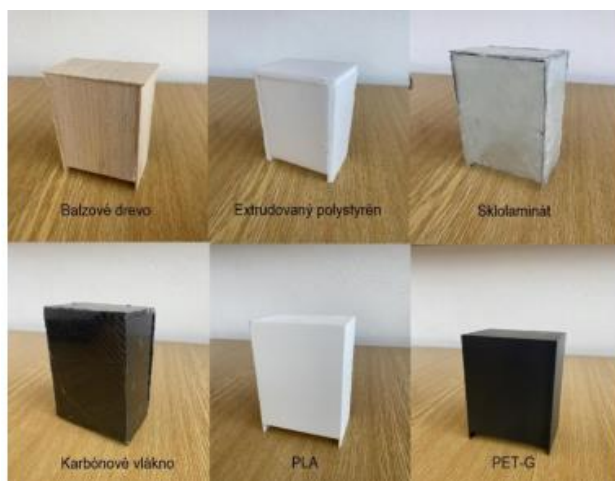
3. Metodika a metódy skúmania

Prvým krokom úspešného merania priepustnosti signálu je výber vhodných materiálov pre kryt. Na samotné meranie signálu na každej frekvencii, bola definovaná vzdialenosť medzi vysielačom a prijímačom 50 metrov. Vysielaný signál bude vyžarovaný z rádiových modulov, ktoré budú napájané na zdroj energie, batériu. Počas merania budú vysielať signály o rôznej veľkej frekvencii (433 MHz, 868 MHz, 5,8 GHz). Podľa konkrétnej frekvencie sa následne pripojí príslušný rádiový modul alebo SDR prijímač. Vhodným SDR prijímačom pre realizáciu tejto metódy merania je HackRF One.

3.1.1. Vyhotovenie krytu antény

Pred začatím výroby krytu pre rádiové moduly, bolo nutné zmerať ich dĺžku, šírku a výšku tak, aby veľkosť krytu ostala zachovaná pre každý rádiový modul (vysielač). Na základe týchto meraní sme jednotlivé časti krytu vyrezali z balzového dreva a extrudovaného polystyrénu. Následne sa tieto časti zlepením spojili do požadovaného tvaru. Ďalšie kryty z PLA a PET-G materiálu bolo nutné navrhnuť v Autodesk Inventor. Po dokončení návrhu sa model krytu importoval do 3D tlačiarne.

Lamináciou uhlíkového a skleneného vlákna sme vyrobili pevný a odolný kompozit. Proces laminácie pozostával z postupného ukladania vlákien, za použitia epoxidovej živice. Následne sa stvrdnutá tkanina vybrúsila na požadovanú veľkosť a zlepiť lepidlom z tavnej pištole.



Obrázok 2. Kryty pre anténu vyrobené z rôznych materiálov [Autor]

3.1.2. Meranie rádiovým modulom RA-02 LoRa

Na meranie útlmu signálu boli použité dva identické rádiové moduly RA-02 LoRa so všesmerovou anténou, pracujúcou na frekvencii 433 MHz. Keďže tento rádiový modul pracuje ako vysielateľ a prijímač, použili sme ho na obe funkcie. Vysielateľ sme umiestnili na statív 50 metrov od prijímača. Jeho poloha bola pevne zaistená, aby počas merania nedošlo k zmene polohy antény. Meranie prebiehalo v exteriéri bez prekážok medzi vysielateľom a prijímačom. Počas merania sme na vysielateľ postupne umiestňovali šesť rôznych krytov a sledovali zmeny v sile signálu. Výsledky merania boli zaznamenané softvérom Arduino, ktorý zobrazoval hodnotu sily signálu v dBm.

3.1.3. Meranie rádiovým modulom RFD868x

Postup merania útlmu signálu na 868 MHz frekvencii bol v zásade identický s meraním na 433 MHz. Opäť sme vysielateľ umiestnili na statív vo vzdialenosti 50 metrov od prijímača a sledovali sme zmeny v sile signálu pri prechode rôznymi materiálmi. Pomocou softvéru RFD900Tools sme zaznamenali hodnoty a následne prepočítali na dBm.

3.1.4. Meranie rádiovým modulom FX2-ultimate

Na meranie útlmu signálu sme použili vysielateľ FX2-ultimate a umiestnili ho 50 metrov od SDR zariadenia. Vysielateľ bol vybavený všesmerovou anténou s frekvenciou 5,8 GHz, ktorá je určená na prenos video alebo veľkého objemu dát na krátke vzdialenosti, a preto je citlivá na prekážky v okolí. Pomocou SDRsharp softvéru sme dekodovali prijímaný signál, pretože SDR zariadenie len transformuje analógový signál z antény na digitálny signál, pomocou analógovo-digitálneho prevodníka.

4. Výsledky

Výsledky merania ukázali, že útlm signálu sa líši v závislosti od frekvencie a materiálu krytu antény.

4.1.1. Výsledky merania na 433 frekvencii

Výsledok merania na 433 MHz frekvencii ukazuje, že kryt nemá výrazný vplyv na šírenie rádiových vln, na tejto frekvencii. Najviac útlmu signálu spôsobuje kryt z uhlíkového vlákna, pričom signál je len o 2 dBm slabší než signál šíriaci sa cez

balzové drevo. Najľahším a zároveň najmenej škodlivým krytom pre šírenie signálov je kryt z balzového dreva, ktorý nespôsobil žiaden útlm signálu, v porovnaní s meraním bez krytu. Výsledky merania sú zaznamenané v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Nameraná sila signálu na 433 MHz frekvencii [Autor]

Materiál krytu	Sila signálu (dBm)
Balzové drevo	-84
Extrudovaný polystyrén	-84,5
PLA	-85
PET-G	-85
Sklolaminát	-85
Uhlíkové vlákno	-86
Bez krytu	-84

4.1.2. Výsledky merania na 868 MHz frekvencii

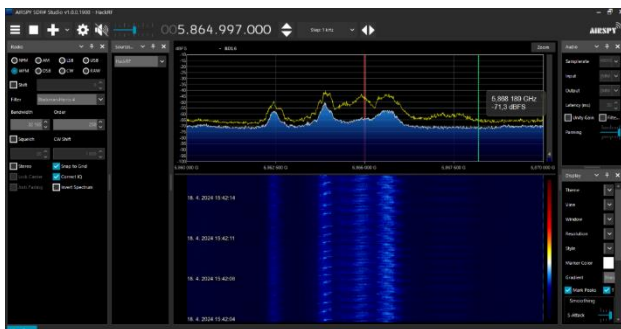
Pri meraní intenzity signálu rádiovým modulom RFD868x s monopól anténou sme zistili, že anténa bez krytu vysiela signál s rovnakou silou, ako anténa zakrytá PLA krytom, či krytom z balzového dreva a extrudovaného polystyrénu. Naopak, kryt z uhlíkového vlákna mal na vysielenie signálu najnegatívnejší vplyv a absorboval najviac rádiových signálov spomedzi ostatných krytov. Pri analýze grafov sme sa zamerali na hodnotu „RSSI Local“, ktorá indikuje silu prijímaného signálu. Pre konverziu sily signálu do jednotiek dBm, sme použili priemernú hodnotu signálu a výsledky sú zahrnuté v tabuľke 2.

Tabuľka 2. Prepočítané sily signálu na dBm [Autor]

Materiál krytu	Sila signálu (dBm)
Balzové drevo	-51,5
PLA	-51,5
PET-G	-52
Sklolaminát	-53
Uhlíkové vlákno	-59,5
Extrudovaný polystyrén	-51,5
Bez krytu	-51,5

4.1.3. Výsledky merania na 5,8 GHz

Posledným meraním bolo dokázané, že so zvyšujúcou sa frekvenciou dochádza k podstatne väčšiemu útlmu signálu. Výsledné merania naznačujú, že anténa bez krytu vysiela signály s menšou silou, než anténa s PET-G krytom. Na druhej strane, kryt z uhlíkového vlákna najviac tlmi vysielať signál. V spodnej časti obrázku 2 je zobrazený spektrogram signálu z rádiového modulu FX2-ultimate s PET-G krytom, vysielať z 50 metrov. Spektrogram zobrazuje grafické znázornenie intenzity prijatých signálov v reálnom čase, ako funkciu frekvencie na vodorovnej osi a času na zvislej osi. Farebná škála znázorňuje intenzitu signálu, teda čím je farba modrejšia, tým je signál slabší.



Obrázok 3. Spektrogram signálu s PET-G krytom [Autor]

5. Zhrnutie výsledkov

Na základe vykonaných meraní môžeme konštatovať, že kryt vyrobený z uhlíkového vlákna spôsoboval najväčší útlm signálu na všetkých troch frekvenciách. Toto zistenie naznačuje, že tento materiál absorbuje rádiové vlny a dochádza k značnému poklesu sily signálu, čo môže mať za následok zhoršenie kvality prenosu dát alebo znížený dosah. V praxi sa kryt z uhlíkových vlákien neodporúča používať na ochranu anténnych systémov v UAV. Použitie uhlíkového vlákna v trupovej časti UAV by minimalizovalo elektromagnetické interferencie generované palubnými prístrojmi alebo motormi, čím by sa zabezpečil spoľahlivejší prenos dát z paluby do riadiacej stanice na zemi.

Ďalším zistením bolo, že všetky testované materiály výrazne neovplyvňujú silu signálu na frekvencii 433 MHz. To umožňuje použitie širšej škály materiálov bez významného vplyvu na silu signálu. Podobne aj pri 868 MHz frekvencii dochádza k menšej interakcii s nevodivými materiálmi. Stále ide o relatívne dlhú vlnovú dĺžku, takže vplyv materiálu na silu signálu je síce väčší ako pri 433 MHz, ale stále neobmedzujúci.

Pri meraniach na 5,8 GHz frekvencii bol nameraný nárast sily signálu použitím PET-G krytu, oproti meraniu bez krytu. Túto skutočnosť odôvodňujeme tým, že PET-G kryt izoluje elektromagnetické rušenie od okolia a tým zvyšuje intenzitu signálu [19].

6. Záver

Na základe tohto článku sme si rozobrali princíp šírenia elektromagnetických vln cez rôzne materiály. V súvislosti s prípravou sme si vysvetlili, akým spôsobom boli kryty vyrobené a následne použité v meraniach.

Naším prvotným cieľom bolo navrhnúť a otestovať materiály na troch rôznych frekvenciách. Merania boli vykonané rádiovými modulmi RA-02 LoRA pre 433 MHz frekvenciu, RFD868x pre 868 MHz frekvenciu a FX2-ultimate pre 5,8 GHz frekvenciu. Metóda merania, ktorá bola použitá, je priama metóda merania.

Výsledky ponúkajú poznatky o vplyve materiálov na šírenie rádiových vln na frekvenciách, ktoré sa využívajú v bezpilotných systémoch. Výsledky práce môžu byť užitočné pri navrhovaní krytov pre anténne systémy a konštrukcie UAV, ktoré bude kalibrovať ILS v UHF frekvenčnom pásme. Keďže jedným z meraní bolo meranie v UHF pásme a to korešponduje s frekvenčným pásmom zostupového majáka, naše meranie je relevantné.

Referencie

- [1] VERGROUW, B. – HUUB, N. – GEERT, B. – BART, C. 2016. Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. The Hague: T.M.C. Asser Press. 2016. s. 21-45. ISBN 978-94-6265-131-9 978-94-6265-132-6
- [2] SUK, Michal. 2023. Vývoj konštrukcie experimentálneho hybridného UAV dlhého doletu s pevnou nosnou plochou. [diplomová práca]. Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta PEDAS, Katedra leteckej dopravy, 2023. 158 s.
- [3] VERGROUW, B. – HUUB, N. – GEERT, B. – BART, C. 2016. Drone Technology: Types, Payloads, Applications, Frequency Spectrum Issues and Future Developments. The Hague: T.M.C. Asser Press. 2016. s. 21-45. ISBN 978-94-6265-131-9 978-94-6265-132-6.
- [4] VYAS, Kashyap. A Brief History of Drones: From Pilotless Balloons to Roaming Killers [online]. 29. jún 2020. [cit.2024-04-22]. Dostupné na: <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [5] The Physics Classroom Website [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné na: <https://www.physicsclassroom.com/mmedia/waves/em.cfm>
- [6] COMPOSITE ENVISIONS. 2020. How Well Carbon Fiber and Other Fibers Shield Radio Waves [online]. 2020. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://compositeenvisions.com/document/how-well-carbon-fiber-and-other-fibers-shield-radio-waves/>
- [7] PETG vs PLA Filament: The Main Differences [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné na: <https://all3dp.com/2/petg-vs-pla-3d-printing-filaments-compared/>
- [8] STYROPAN. Extruded polystyrene XPS – Characteristics, advantages & applications [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://www.styropan.gr/en/products/thermal-insulation/extruded-polystyrene/about>
- [9] TENCOM. Is Fiberglass Conductive? And Other Common Questions About FRP [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné na: <https://www.tencom.com/blog/is-fiberglass-conductive>
- [10] JEMENGINEERING. 2020. Frequency Bands & Applications [online]. 2020. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://jemengineering.com/blog-frequency-bands-and-applications/>
- [11] ITM COMPONENTS. Omnidirectional and Directional Antennas - What's the Difference? [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://itm-components.co.uk/blogs/news/69156739-there-are-two-main-types-of-antennas-do-you-know-the-difference>
- [12] AGARWAL, T. 2022. Dipole Antenna : Design, Working, Types & Its Applications [online]. 2022. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://www.elprocus.com/dipole-antenna/>

- [13] AGARWAL, T. 2022. Dipole Antenna : Design, Working, Types & Its Applications [online]. 2022. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://www.elprocus.com/dipole-antenna/>
- [14] SEHNAL, J. Antény [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://docplayer.cz/17470011-Anteny-zpracoval-ing-jiri-sehnal-1-napajeci-vedeni-2-charakteristicke-vlastnosti-anten-a-zakladni-druhy-anten.html>
- [15] NOVOTECH. Omnidirectional Antenna vs Directional Antenna Explained [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné na: <https://novotech.com/learn/m2m-blog/blog/2023/03/29/want-to-end-the-great-debate-directional-vs-omnidirectional-antennas/>
- [16] JAKUBÍČEK M. 2013. Yagiho anténa napájaná vlnovodem integrovaným do substrátu [bakalárska práca]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. 2013. 98 s.
- [17] ALTIGATOR. Airport Automatic Landing Systems: ILS, Calibration Using Drones [online]. 2018. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://altigator.com/en/ils-calibration-drone-air-traffic-management-uav/>
- [18] LANDING SYSTEM. Pozemné vybavenie - Instrument Landing System (ILS) [online]. [cit. 2024-04-22]. Dostupné na: https://landingsystem.com/sk/pozemne_vybavenie.html
- [19] ELEKTROLAB. Elektromagnetické a rádiovlnové rušenie a spôsoby ich redukcie. [online]. [cit. 2024-04-10]. Dostupné na: <https://www.elektrolab.eu/blog/elektromagneticke-a-radiofrekvencne-rusenie-a-sposoby-ich-redukcie>
- [20] PILOT INSTITUTE. What's the Difference Between Drones, UAV, and UAS? Definitions and Terms. [online]. 22. marec 2020. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://pilotinstitute.com/drones-vs-uav-vs-uas/>
- [21] Unmanned Aerial Systems (UAS) | SKYbrary Aviation Safety [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/unmannedaerial-systems-ua>



ANALÝZA PREVÁDZKOVÝCH RIZÍK UAV

Alex Cuker
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article focuses on a comprehensive analysis of the operational risks associated with the use of Unmanned Aircraft Systems (UAS). The introductory section discusses the rapid development of UAS technology and the legislative framework governing their use, including the introduction of a UAS park at the University of Žilina. The main part of the article is dedicated to assessing the risks associated with UAS operations, where efforts were made to identify and consider all possible factors affecting safety. Challenges associated with rapidly changing technologies and external factors underscore the need for ongoing development and refinement of risk assessment methodologies, such as the Specific Operations Risk Assessment (SORA) developed by EASA, which was applied in this article. The work provides a foundation for creating a SORA analysis, essential for obtaining permissions for flights in the "specific" category.

Keywords

Unmanned Aircraft Systems (UAS), Specific Operations Risk Assessment (SORA), operational risks, legislative framework, risk management, safety analysis

1. Úvod

Bezpilotné systémy (UAS - Unmanned Aircraft Systems) sú dnes jednou z najrýchlejšie sa rozvíjajúcich technológií. Ich rastúce využitie v rôznych oblastiach, od geodetického mapovania a monitoringu životného prostredia až po vojenské operácie, vyžaduje dôkladnú analýzu a manažment rizík spojených s ich prevádzkou. Táto práca sa sústreďuje na analýzu prevádzkových rizík UAS pomocou metodiky Specific Operations Risk Assessment (SORA) vypracovanej Európskou agentúrou pre bezpečnosť letectva (EASA). Cieľom je posúdiť riziká pre konkrétnu situáciu. Práca detailne rozoberá históriu a vývoj UAS, ako aj legislatívne rámce ovplyvňujúce ich používanie. Zámerom je poskytnúť komplexný pohľad na riziká spojené s ich prevádzkou a poukázať na opatrenia, ktoré som v modelovej analýze využil na ich zmiernenie. Modelová analýza môže slúžiť taktiež ako vzor pre získanie povolení v „osobitnej“ kategórii prevádzky.

2. História využitia UAS prostriedkov

Bezpilotné letecké prostriedky (UAV - Unmanned aerial vehicle) sú lietadlá, ktoré sú prevádzkované bez možnosti priameho ľudského zásahu z paluby lietadla. Môžu byť automatizované alebo diaľkovo ovládané. UAV môžu lietať počas dlhých časových úsekov pri kontrolovanej rýchlosti a výške a majú úlohu vo viacerých aspektoch leteckej dopravy. V súčasnosti sa používa najmä názov UAS. Systém bezpilotného lietadla pozostáva z bezpilotného lietadla a vybavenia potrebného na bezpečnú a efektívnu prevádzku tohto lietadla. UAV je súčasťou UAS [1] [2].

Bezpilotné letecké prostriedky majú dlhú históriu, ktorá sa začala už v 18. storočí. Za prvé UAV možno považovať teplovzdušný balón z roku 1783, vyvinutý bratmi Montgolfierovcami, ktorý predstavoval prvý letecký prostriedok

bez priameho ľudského zásahu [3]. Neskôr, v 19. storočí, sa UAV začali používať aj na vojenské účely, ako ukazuje príklad balónovej bomby vynájdenej Franzom von Uchatiusom v roku 1849, ktorá bola použitá počas obliehania Benátok [4].

V priebehu prvej svetovej vojny došlo k ďalšiemu vývoju UAV, kedy boli využité na letecké snímkovanie a vytvorenie máp nemeckého frontu. Tieto snímky boli medzi prvými príkladmi ortofotomozaiky, čo umožnilo detailnejšie mapovanie nepriateľských pozícií [3]. V období medzi svetovými vojnami sa vývoj UAV nezastavil, a pokračoval vznikom bezpilotných lietadiel, ktoré boli používané ako cvičné ciele na výcvik pilotov v Británii a neskôr aj v Spojených štátoch.

V priebehu a po druhej svetovej vojne došlo k značnému pokroku v technológii a využití UAV. Známym príkladom tohto vývoja predstavuje operácia Aphrodite, kde boli modifikované bombardéry B-17 a B-24 nasadené ako bezpilotné letúny pre strategické útoky. Misie zahŕňali prepravu veľkých náloží s cieľom zničiť špecificky vybrané vojenské ciele. Tragicky sa táto stratégia spája aj so smrťou Josepha Kennedyho Jr., ktorý zahynul, keď sa jeho letún nečakane zrútil. Tieto incidenty poukázali na vysoké riziká spojené s ranými verziami bezpilotných lietadiel [3][5]. S nástupom studenej vojny a technologickými inováciami v 70. a 80. rokoch 20. storočia, UAV postupne našli svoje miesto ako neoceniteľný nástroj vo vojenských operáciách, a neskôr sa ich využitie rozšírilo aj do civilných oblastí.

Rok 2006 predstavuje zlomový moment v civilnom využití UAV, keď po hurikáne Katrina FAA umožnila bezpilotným lietadlám lietať v civilnom vzdušnom priestore pre pátracie a záchranné misie. Drony Predator s termálnymi kamerami boli schopné odhaliť tepelné stopy ľudí až na vzdialenosť troch kilometrov. V tomto čase sa začal skutočne formovať priemysel spotrebných dronov. Spoločnosti ako Parrot, DJI, 3DR a mnohé ďalšie sa snažili využiť vojenskú technológiu UAS a prepracovať ju na

komerčné využitie. Potenciál pre priemyselné a spotrebiteľské UAS trhy bol dostatočný na to, aby mnohé podniky investovali do technológie [3].

V reakcii na spoločnosť Parrot, ktorá ako prvá integrovala smartfón s dronom AR Drone v roku 2010, predstavila firma DJI v roku 2013 populárny UAS Phantom, ktorý umožnil firme získať dominantné postavenie na trhu s bezpilotnými lietadlami pre spotrebiteľov. Následne Jeff Bezos v roku 2013 avizoval plány Amazon Prime Air na doručovanie zásielok pomocou bezpilotných lietadiel, službu, ktorá v súčasnosti funguje na dvoch miestach v USA [6][7]. Spoločnosti ako FedEx, UPS, Google, Uber a nespočetné množstvo ďalších, uznáva výhody bezpilotných lietadiel ako doručovacej platformy. Začína sa testovanie rôznych konceptov UAS a spolupráca s regulačnými agentúrami po celom svete [3].

Tento historický prehľad ilustruje, ako bezpilotné lietadlá prešli dlhú cestu od experimentálnych balónov k nevyhnutnej súčasť moderných technologických aplikácií, a ukazuje potrebu pre dôkladné pochopenie a manažment rizík spojených s ich prevádzkou.

3. Súčasný stav riešenej problematiky

Od roku 2014 sa bezpilotné prostriedky neustále rozširujú, pokiaľ ide o možnosti a prípady použitia. Ich rozšírené využitie je momentálne viditeľné v odvetviach ako poľnohospodárstvo, doprava, monitorovanie životného prostredia, bezpečnosť a obrana, ako aj filmový a fotografický priemysel. V Spojených štátoch amerických sa v roku 2018 predalo až 277 000 komerčných UAS a k roku 2022 má firma DJI z Číny na trhu podiel približne 70 - 80 % [8]. V tom roku jej predaj bezpilotných lietadiel dosiahol 30,6 miliardy dolárov [9]. Vzhľadom na rastúci záujem priemyselných odvetví o využitie bezpilotných lietadiel na zlepšenie bezpečnosti a nákladovej efektívnosti svojich operácií sa očakáva, že tento trend bude v nasledujúcich rokoch dynamicky narastať. Počas pandémie koronavírusu boli bezpilotné lietadlá veľkým prínosom pre spoločnosť, napríklad pri presadzovaní sociálneho dišancovania, masovej dezinfekcii a pomoci pri dodávke zdravotníckych potrieb. Práve pandémia ukázala krajinám na celom svete potenciál, ktorý majú bezpilotné lietadlá pre spoločnosť. Do roku 2030 má mať celý trh s UAS hodnotu 92 miliárd dolárov [3].

S nárastom počtu UAS súvisia aj obavy o bezpečnú prevádzku týchto prostriedkov a s nimi spojené riziká. V súčasnosti je mnoho nehôd spojených s technickými poruchami a poveternostnými podmienkami. Narušovanie vzdušných priestorov je ďalším z problémov, ktoré treba riešiť. Práve z tohto dôvodu sa Európska únia rozhodla pre istú formu regulácie a požiadaviek zo strán prevádzkovateľov a výrobcov.

3.1. Legislatíva

Prevádzka UAS je kategorizovaná podľa úrovne rizikovosti. Vykonávacie nariadenie Komisie (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel rozdeľuje prevádzku bezpilotných systémov do troch kategórií: otvorenej, osobitnej a osvedčenej.

Otvorená kategória predstavuje segment s nízkym prevádzkovým rizikom a je určená pre širokú verejnosť. Pre túto kategóriu nie je vyžadovaná SORA analýza, predchádzajúce

povolenie príslušného úradu ani prehlásenie prevádzkovateľa UAS pred uskutočnením letu. Prevádzkové obmedzenia, požiadavky na riadiaceho pilota a technické špecifikácie bezpilotného systému rozdeľujú túto kategóriu do troch podkategórií: A1, A2 a A3 [10].

V kategórii A1, pre UAS s MTOW do 900 g, je povolené lietať v urbanistických oblastiach, avšak lietanie nad zhromaždeniami ľudí je zakázané [11].

V kategórii A2, pre UAS s MTOW do 4 kg, je povolené lietať v urbanistických oblastiach, pričom musí byť zachovaná primeraná vzdialenosť od nezapojených osôb, ktorá by sa mala rovnať výške, v ktorej bezpilotné lietadlo letí, ale nikdy nie menej ako 5 m. Lietanie nad zhromaždeniami ľudí je zakázané [11].

V kategórii A3, pre UAS s MTOW do 25 kg, nie je dovolené lietať v urbanistických oblastiach a musia byť od nich vzdialené aspoň 150 m. Musia byť tiež prevádzkované ďaleko od ľudí [11].

Pilot v otvorenej kategórii musí udržiavať bezpilotné lietadlo vo vizuálnom dohľade a vykonávať dôkladnú vizuálnu kontrolu vzdušného priestoru v okolí bezpilotného lietadla. Let sa musí prerušiť, ak predstavuje riziko pre iné lietadlo, osoby, zvieratá, životné prostredie a majetok [10].

Osobitná kategória je obdobou predchádzajúceho povolenia k vykonávaniu leteckých prác. Je to kategória prevádzky bezpilotných systémov, u ktorých je s ohľadom na súvisiace riziká požadované povolenie príslušného úradu pred uskutočnením prevádzky. V prípade prevádzky v súlade s určitým „štandardným scenárom“ bude postačovať prehlásenie prevádzkovateľa [10].

3.2. UAS Žilinskej univerzity v Žiline

Na Žilinskej univerzite v Žiline prevádzkujeme desiatky UAS, ktoré slúžia ako nástroj výskumu a ako prostriedky pre praktické vzdelávanie iných prevádzkovateľov a študentov. S ich pomocou prispievame k rozvoju týchto technológií a pomáhame zefektívňovať mnohé odvetvia. Univerzita drží povolenie na vykonávanie leteckých prác pre tri bezpilotné lietadlá: DJI Mavic Pro, DJI Mavic 2 Pro a DJI Inspire 2. DJI Matrice 300 RTK je momentálne v procese certifikácie. Vzhľadom na to, že Mavic 2 Pro predstavuje vylepšenú verziu Mavic Pro, v podkapitolách nižšie opíšem iba DJI Mavic 2 Pro, Inspire 2 a DJI Matrice 300 RTK.

3.2.1. *DJI Mavic 2 Pro*

Model DJI Mavic 2 Pro bol uvedený na trh v roku 2018 a predstavuje významný skok v technológii oproti svojmu predchodcovi. Zvýšená hmotnosť o 173 g je predovšetkým z dôvodu väčšej kapacity batérie. Ďalšou významnou zmenou sú nové kamery vyvinuté spoločnosťou Hasselblad. Bepilotné lietadlo je vybavené systémom detekcie prekážok na všetkých stranách vrátane vertikálneho smeru a je schopné dosiahnuť rýchlosť až 72 km/h. Jeho maximálna výdrž na jedno nabitie je 31 minút a môže operovať v nadmorskej výške až 6 000 metrov. Systém OcuSync druhej generácie zabezpečuje spoľahlivé ovládanie na väčšie vzdialenosti a umožňuje prenos videa vo Full HD kvalite.

3.2.2. *DJI Inspire 2*

DJI Inspire 2 je určený predovšetkým pre profesionálne filmovanie a fotografovanie. Okrem toho umožňuje ovládanie pomocou dvoch ovládačov a poskytuje diaľkové nastavenie všetkých kľúčových funkcií kamery. Inspire 2 bol uvedený na trh koncom roku 2016 a priniesol vylepšené spracovanie obrazu, lepšie letové vlastnosti a možnosť výmeny objektívov. Tento model je vybavený inteligentnými batériami a ponúka rozšírené letové módy a senzory pre bezpečné operácie vo vnútorných aj vonkajších prostrediach. Maximálna vzletová hmotnosť UAS je 4250 g [10].

3.2.3. *DJI Matrice 300 RTK*

DJI Matrice 300 RTK je vysoko výkonné bezpilotné lietadlo navrhnuté predovšetkým pre profesionálnych užívateľov. Jeho robustný dizajn, dlhá výdrž batérie a presná RTK navigácia robia z neho ideálny nástroj pre rozsiahle úlohy v oblastiach ako geodézia, infraštruktúra, poľnohospodárstvo a záchranné operácie. Tento model je schopný vydržať vo vzduchu až 55 minút a operovať aj za nepriaznivého počasia, vďaka ochrane IP45, a môže byť použitý až do nadmorskej výšky 7000 metrov. MTOW je 9 kg. Má protizrážkové snímače na šiestich stranách a dokáže detegovať prekážky do vzdialenosti 40 metrov. Z bezpečnostných funkcií vyniká Return-to-Home, ktorý zahŕňa tri režimy: Smart RTH, RTH pri nízkej batérii a Failsafe RTH, umožňujúci automatický návrat lietadla do východiskového bodu [10][12].

Na zníženie rizika poškodenia osôb na zemi je na bezpilotné lietadlo DJI Matrice 300 RTK upevnený padák od výrobcu Zéphyr. Jednovrchlíkový padákový systém Zéphyr M300 s CO₂ vyhadzovacím mechanizmom umožňuje otvorenie vrchlíka za 1,2 sekundy, čo zodpovedá strate nadmorskej výšky 15 metrov z počítačovej rýchlosti pádu 6 m/s. Efektívna rýchlosť pádu pre hmotnosť 8 kg je 3,2 m/s, čím sa dosahuje nárazová energia len 41 J, a rádiový dosah systému dosahuje až 2 km, čo je dostatočné pre našu bezpečnú operáciu [13].

4. Cieľ a metodika práce

V tejto kapitole sa venujeme cieľom a metodike použitej v práci, ktorá sa opiera predovšetkým o zahraničné zdroje.

4.1. Cieľ práce

Hlavným cieľom práce je posúdenie rizika prevádzky bezpilotného systému v „osobitnej“ kategórii podľa Nariadenia (EÚ) 2019/947 a metodiky SORA. Zámerom je vypracovať SORA analýzu pre let s bezpilotným lietadlom nad mestom Žilina a vytvoriť vzorovú analýzu aplikovateľnú pre ďalšie lety.

4.2. Metodika práce

Metodika zahŕňa zhromažďovanie informácií z odborných článkov a internetových zdrojov, analýzu legislatívy a prevádzkových rizík. Proces vyhodnocovania zahŕňa syntézu získaných informácií, čo umožňuje precízne určenie triedy SAIL pre vybranú operáciu.

5. Posudzovanie rizík spojených s prevádzkou

Prevádzka bezpilotných systémov (UAS) zahŕňa rôzne aspekty, od technických špecifikácií zariadení po procedúry riadenia a koordinácie letov. Prevádzka s bezpilotným systémom DJI Matrice 300 RTK, ktorého maximálna vzletová hmotnosť (MTOW) je 9 kg, spadá do kategórie "otvorenej", podkategórie A3 alebo "osobitnej". Vzhľadom na legislatívu, let nad mestom Žilina s Matrice 300 RTK musí prebiehať v "osobitnej" kategórii, čo vyžaduje schválenie žiadosti o oprávnenie na prevádzku. Jednou z príloh k žiadosti je posúdenie rizík na základe metodiky SORA.

Tabuľka 1. Proces SORA

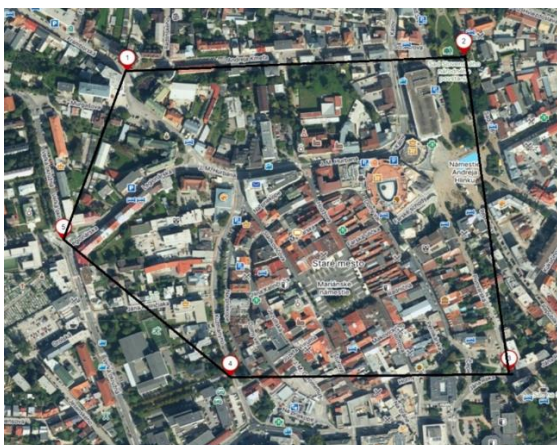
Krok 1: Popis prevádzkového konceptu
Krok 2: Určenie vlastnej triedy rizika na zemi (GRC) UAS
Krok 3: Určenie konečnej GRC
Krok 4: Určenie počítačovej triedy rizika vo vzduchu (ARC)
Krok 5: Použitie strategických zmierňujúcich opatrení za účelom určenia konečnej ARC
Krok 6: Úrovne TMPR a spoľahlivosti
Krok 7: Určenie SAIL
Krok 8: Identifikácia cieľov prevádzkovej bezpečnosti (OSO)
Krok 9: Zohľadnenie príľahlých oblastí vzdušného priestoru
Krok 10: Komplexné portfólio bezpečnosti

V nasledujúcich kapitolách sa podrobnejšie venujeme týmto krokom a ich aplikácii na konkrétny prevádzkový koncept UAS Žilinskej univerzity.

5.1. Popis prevádzkového konceptu (ConOps – Concept of operation)

V prevádzkovom koncepte sa venujem hodnoteniu vplyvov zmien v organizačnej štruktúre a procesoch, s dôrazom na zabezpečenie bezpečnosti prevádzky. Zameriavam sa na kvalifikáciu a požiadavky pre personál zapojený do prevádzky UAS, kde zdôrazňujem nutnosť autonómneho porozumenia prevádzkového konceptu a definujem minimálne požiadavky pre pilotov a mechanikov. V časti o preventívnej zdravotnej starostlivosti sa zaoberám odpočinkovými obdobiami a zdravotnými protokolmi po chirurgických zákrokoch, ako aj zásadami pre bezpečné pracovné prostredie.

V časti o postupoch sa sústreďujem na metodiku a prístupy k prevádzkovým postupom, ktoré minimalizujú ľudské chyby a umožňujú zrušenie alebo odklad letov v prípade ohrozenia bezpečnosti. Diskutujem o koordinácii viacerých členov prevádzky a zdôrazňujem význam jasnej komunikácie a zrozumiteľnosti úloh každého zainteresovaného. Detailne rozoberám prístup k plánovaniu letov, výber a použitie aktuálnych navigačných materiálov a dôkladné hodnotenie letovej oblasti s ohľadom na poveternostné podmienky.



Obrázok 1. Satelitná snímka s vyznačenou letovou plochou

Externé služby a systémy, ktoré využívam v mojej prevádzke, sú kľúčové pre bezpečnosť a efektivitu letov. Zahrnuté sú aj postupy na vyhodnocovanie a zvládanie nepriaznivých poveternostných podmienok, ako aj taktické zmiernujúce opatrenia pre zvýšenie bezpečnosti. Vysvetľujem tiež, ako som určil letové oblasti, zahrňujúc obmedzenie týkajúce sa výšky letov. Zvláštna pozornosť je venovaná núdzovým postupom a vypracovaniu ERP (Emergency response plan), s akcentom na rýchlu a efektívnu reakciu v prípade incidentov alebo nehôd.

Pretože naša maximálna výška letu je limitovaná na 120 m, tak stret s lietadlom je minimálny z nasledujúcich dôvodov:

- Podľa predpisu je minimálna výška, do ktorej môže pilot lietadla v danej časti klesať, stanovená na 1000 ft.
- Náš UAS je vybavený systémom ADS-B a FLARM
- Budeme lietať za neustáleho vizuálneho kontaktu s UAV.
- Oblasť sa nachádza v priestore CTR Žilina a pred každým letom upovedomíme stredisko riadenia o našich zámeroch a trvaní letu. V časoch, keď CTR Žilina nie je aktivované, budeme na neustálom rádiovom odposluchu frekvencie z dôvodu situačného povedomia o prevádzke.
- Počas doby prevádzky budú mať osoby poverené prevádzkou pri sebe nabitú mobilné telefóny.

5.2. Určenie vlastnej triedy rizika na zemi (GRC) UAS

Vlastné riziko vplyvu UAS na zemi sa vzťahuje k riziku, že bude osoba zasiahnutá UAS. Naša snaha je o lietanie nad mestom Žilina, ktoré je zaľudnenou oblasťou s maximálnym rozmerom UAS 1410 mm, ktoré spadá do kategórie od 1 m do 3 m. Budeme lietať za podmienok VLOS (Visual line of sight). Ako môžeme vidieť na tabuľke nižšie, tak po spojení všetkých kritérií naša počítateľná trieda rizika na zemi bude 5.

Tabuľka 2. Určenie vlastnej GRC

Vlastná trieda rizika na zemi UAS				
Max. charakteristický rozmer UA	1 m / cca 3 ft	3 m / cca 10ft	8 m / cca 25 ft	> 8 m / cca 25 ft
Očakávaná špecifická kinetická energia	< 700 J (cca 529 ft lb)	< 34 kJ (cca 25 000 ft lb)	< 1 084 kJ (cca 800000 ft lb)	> 1 084 kJ (cca 800000 ft lb)
Prevádzkové scenáre				
VLOS/BVLOS nad kontrolovanou pozemnou plochou	1	2	3	4
VLOS nad riedko zaľudnenou oblasťou	2	3	4	5
BVLOS nad riedko zaľudnenou oblasťou	3	4	5	6
VLOS nad zaľudnenou oblasťou	4	5	6	8
BVLOS nad zaľudnenou oblasťou	5	6	8	10
VLOS nad zhromaždením ľudí	7			
BVLOS nad zhromaždením ľudí	8			

5.3. Určenie konečnej GRC

Vlastné riziko zasiahnutia osoby UAS (v prípade straty riadenia letu) je možné pomocou zmiernujúcich opatrení kontrolovať a znížiť. Zmiernujúce opatrenia použité na zmenu vlastnej GRC majú priamy vplyv na ciele bezpečnosti súvisiace s konkrétnou prevádzkou, a preto je dôležité zabezpečiť ich spoľahlivosť. To má význam najmä v prípade technických zmiernujúcich opatrení súvisiacich s rizikom na zemi (napr. záchranný padák) [14].

Tabuľka 3. Zmiernujúce opatrenia na určenie konečnej GRC

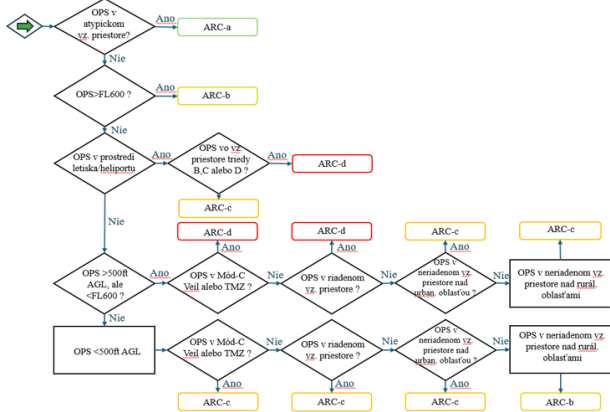
Zoznam zmiernujúcich opatrení	Zmierňujúce opatrenia rizika na zemi	Spoľahlivosť		
		Nizka/žiadna	Stredná	Vysoká
1	M1 – Strategické zmiernujúce opatrenia na zemi	0: žiadna -1: nízka	-2	-4
2	M2 – Sú zmiernené následky nárazu na zem	0	-1	-2
3	M3 – Je zavedený pohotovostný plán (ERP), prevádzkovateľ UAS je overený a efektívny	1	0	-1

Napríklad v prípade nášho bezpilotného lietadla s maximálnym rozmerom od 1 m do 3 m (druhý stĺpec v Tabuľke 2) prevádzkovaného za nepretržitého vizuálneho kontaktu (VLOS) s týmto UAV nad zaľudnenou oblasťou je vlastná GRC rovno 5. Na základe analýzy ConOps nárokuje zníženie rizika na zemi najprv použitím M1 strednej spoľahlivosti (zníženie GRC o 2). Konkrétne sa jedná o lietanie v hodinách, kedy sa v meste nachádza málo ľudí vo vonkajších priestoroch. V tomto prípade výsledok použitia M1 je GRC=3, pretože GRC znížime o dva stupne. Potom použijeme M2 s využitím padákového systému Zephyr, ktorý má za následok ďalšie zníženie o 1 (tj. GRC=1). Nakoniec bolo vypracované M3 (ERP) strednej spoľahlivosti, ktoré podľa Tabuľky 3 nevedlo k žiadnemu ďalšiemu zníženiu [14].

Konečná GRC sa stanoví pridaním všetkých korektívnych činiteľov (tj. -2-1-0=-3) a upravením GRC výsledným číslom (5-3=2) [14].

5.4. Určenie počítačovej triedy rizika vo vzduchu (ARC)

Táto podkapitola pojednáva o riziku zrážky medzi bezpilotným lietadlom a lietadlom s pilotom na palube.



Obrázok 2. Proces stanovenia ARC

Z dôvodu lietania v oblasti triedy D (CTR Žilina) s našou prevádzkou do 500 ft AGL je na základe schémy na obrázku 2 naša trieda rizika vo vzduchu ARC-c.

5.5. Použitie strategických zmiernujúcich opatrení na určenie zvyškovej ARC

Ako prevádzkovateľ sme názoru, že pridelená trieda rizika vo vzduchu vzhľadom na naše prevádzkové postupy nie je primeraná. Na zníženie ARC sme vymedzili priestor, v ktorom sa budeme v oblasti mesta Žilina s našim UAS pohybovať. Tento priestor bude známy aj stanovištiu letovej prevádzky, ktorého vopred oslovíme, aby nám vydal súhlas na použitie priestoru. Budeme vždy v počte dvoch. Jeden bude AO (airspace observer) a druhý pilot UAV. Pozorovateľ aj pilot bude mať zároveň pri sebe mobilné zariadenie v prípade, že by nám stanovištiu letovej prevádzky potrebovalo sprostredkovať informáciu. Počas času, kedy letisko funguje ako neriadené, budeme mať pri sebe neustále rádiostanicu, s pomocou ktorej budeme mať neustále prehľad o okolitej prevádzke. Vo všetkých vytýčených priestoroch budeme UA (unmanned aircraft) prevádzkovať za pravidiel VLOS do výšky 120 m AGL. Na základe hore uvedených zásad, sme presvedčení, že sme zmiernili riziko vo vzduchu na ARC-b.

5.6. Úroveň TMPR a spoľahlivosti

Okrem strategických zmiernujúcich opatrení použijeme aj taktické zmiernujúce opatrenia. Naš UAS je vybavený technológiou ADS – B a FLARM.

5.7. Určenie SAIL (Specific Assurance and Integrity Level)

Parameter SAIL zlučuje dohromady analýzy rizík na zemi a vo vzduchu. SAIL predstavuje úroveň istoty, že prevádzka UAS zostane pod kontrolou. Po určení konečnej GRC a zvyškovej ARC je potom možné odvodiť SAIL súvisiace s navrhovanou ConOps [14].

Tabuľka 4. Určenie SAIL

Určenie SAIL				
Konečná GRC	Zvyšková ARC			
	a	b	c	d
≤2	I	II	IV	VI
3	II	II	IV	VI
4	III	III	IV	VI
5	IV	IV	IV	VI
6	V	V	V	VI
7	VI	VI	VI	VI
>7	Prevádzka kategórie C			

Naša SAIL po zohľadnení GRC 2 a ARC-b je II. Tu je dôležité zdôrazniť, že v súčasnosti Dopravný úrad nepovoľuje prevádzku s triedou SAIL vyššou ako II.

5.8. Identifikácia cieľov prevádzkovej bezpečnosti (OSO)

Ďalším krokom v procese SORA je použitie triedy SAIL na vyhodnotenie bezpečnostných bariér operácie, nazývaných OSO (Operational Safety Objectives). Tieto bezpečnostné ciele sú zatriedené podľa spoľahlivosti, kde každá úroveň spoľahlivosti - nízka (L), stredná (M) a vysoká (H) - odporúča rôzne opatrenia podľa rizika, ktorému je prevádzka vystavená. Táto metodika pomáha zabezpečiť, že každý bezpečnostný cieľ je primerane adresovaný v závislosti od špecifikovaného rizika a situácie. V praxi sa táto hierarchia bezpečnostných opatrení využíva na znižovanie hrozieb identifikovaných počas analýzy ConOps. Tieto informácie sú uvedené v dokumente, ktorý sumarizuje skúsenosti a najlepšie postupy z predchádzajúcich operácií, poskytujúc tým solídny základ pre návrh a implementáciu bezpečnostných cieľov pri nových prevádzkach UAS.

5.9. Zohľadnenie príľahlých oblastí vzdušného priestoru

Toto riziko sme sa snažili eliminovať najmä technickou vybavenosťou UAS ako je funkcia RTH a ďalšou osobou, ktorá nám bude pomáhať let vykonať. Naš vyznačený vzdušný priestor je dostatočne veľký a na základe skúseností nepredpokladáme, že by mohlo prísť k narušeniu príľahlých oblastí. V prípade, že by sa nakoniec tak stalo, postupovali by sme na základe prevádzkovej príručky a ERP.

5.10. Komplexné portfólio bezpečnosti

Proces SORA poskytuje žiadateľovi, príslušnému úradu a ANSP metodiku, ktorá zahŕňa rady zmiernujúcich opatrení a bezpečnostných cieľov, ktoré sa majú zväziť s cieľom zabezpečiť adekvátnu úroveň istoty, že prevádzku možno vykonať bezpečne. Tieto sú:

- zmiernujúce opatrenia použité na úpravu vlastného GRC,
- strategické zmiernujúce opatrenia pre počítačnú ARC,
- taktické zmiernujúce opatrenia pre zvyškovú ARC,
- zohľadnenie príľahlej oblasti/vzdušného priestoru,
- OSO [14].

Ako prevádzkovateľ UAS zaistíme zhodu medzi bezpečnostnými skutočnosťami SORA a skutočnými prevádzkovými podmienkami (tj. doba letu).

6. Záver

V tomto článku som sa zamerlal na komplexnú analýzu prevádzkových rizík spojených s používaním bezpilotných systémov (UAS). Úvodná časť sa venuje rýchlemu vývoju UAS a legislatívnemu rámcu ich používania, vrátane predstavenia základu UAS parku na Žilinskej univerzite v Žiline. Hlavná časť je zameraná na posudzovanie rizík spojených s prevádzkou UAS, kde som sa snažil identifikovať a zohľadniť všetky možné faktory ovplyvňujúce bezpečnosť.

Výzvy spojené s rýchlo meniacimi sa technológiami a externými faktormi zdôrazňujú potrebu nepretržitého rozvoja a zdokonaľovania metodík hodnotenia rizík, ako je SORA od EASA, ktorá bola aplikovaná aj v tomto článku. Práca poskytuje základ pre tvorbu SORA analýzy, nevyhnutnej pre získanie povolenia pre lety v „osobitnej“ kategórii.

Referencie

- [1] A Brief History of Drones. [Online] Dostupné z: <https://www.iwm.org.uk/history/a-brief-history-of-drones>
- [2] What is an unmanned aircraft system (UAS)? [Online] Dostupné z: <https://www.faa.gov/faq/what-unmanned-aircraft-system-uas>
- [3] A Not-So-Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAV). [Online] Dostupné z: <https://consortiq.com/uas-resources/short-history-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [4] A brief history of drones: from pilotless balloons to roaming killers [Online] Dostupné z: <https://interestingengineering.com/innovation/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [5] The Early Days Of Drones – Unmanned Aircraft From World War One And World War Two [Online] Dostupné z: <https://www.warhistoryonline.com/military-vehicle-news/short-history-drones-part-1.html>
- [6] Delivery drones are coming: Jeff Bezos promises half-hour shipping with Amazon Prime Air [Online] Dostupné z: <https://www.theverge.com/2013/12/1/5164340/delivery-drones-are-coming-jeff-bezos-previews-half-hour-shipping>
- [7] Drone Delivery [Online] Dostupné z: <https://www.amazon.com/gp/help/customer/display.html?nodeId=T3jxhuvPfQ629BOIL4>
- [8] The Most Surprising Commercial Drone Industry Statistics in 2024. [Online] Dostupné z: <https://gitnux.org/commercial-drone-industry-statistics/>
- [9] 8 INTERESTING DJI STATISTICS (FACT CHECKED FOR 2024) Dostupné z: <https://shotkit.com/dji-stats/>
- [10] KOCOUREK, Jaroslav a ŘEŠÁTKO Jaroslav. Praktická příručka pro majitelé dronů DJI. Třetí vydání. Praha: TELINK s.r.o., 2021. ISBN 978-80-11-00186-5
- [11] The OPEN category [Online] Dostupné z: [https://learningzone.eurocontrol.int/ilp/pages/wbtfullscreen.jsf?pollingMode=on&runninLanguage=enGB&openMode=samepage&isOpenedFromSyllabus=true&parentCou](https://learningzone.eurocontrol.int/ilp/pages/wbtfullscreen.jsf?pollingMode=on&runninLanguage=enGB&openMode=samepage&isOpenedFromSyllabus=true&parentCourseId=libraryItem=false&mediaId=966700&courseId=19973264)
- [12] DJI Matrice 300 RTK uživatelský manuál v1.0 2020.06 [Online] Dostupné z: https://cdn.djitelink.cz/data/user-content/navody/M300_navod.pdf
- [13] Zephyr - Padák pre DJI Matrice 300 RTK [Online] Dostupné z: <https://www.dronerepublic.sk/zephyr-padak-pre-dji-matrice-300-rtk/>
- [14] EASA e Rules_UAS_CS_18-05.2022_v4-1. [Online] Dostupné z: <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/online-skoleni-a-informace-k-vyuziti/dokument-easa-erules/>



ANALÝZA MONITOROVANIA MOTOROVÝCH PRÍSTROJOV A ČINNOSTI PILOTA POČAS LETOV IFR

Jakub Farský
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Frederik Chodelka
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

For safe flight, it is necessary for the pilot to be able to correctly divide his attention during flight between primary and secondary controls. An important part of this is a proper familiarisation with the aircraft and pre-flight preparation. Within this article, the equipment of the aircraft used for training at LVVC during IFR flights is presented in terms of the display of the engine instruments. The analysis of the activities reveals possible in-flight hazards that may affect the pilot's situational awareness during the execution of the flight. Observations on the simulator are used to determine the current state of situational awareness among the pilots in training and to address the problem encountered. The contribution of this thesis is the proposal of the application of scanflow to the monitoring of engine instruments and such measures that could help to increase situational awareness and thereby ensure a higher level of safety during the performance of flight activities.

Keywords

training, display of engine parameters, situational awareness, pilot activities, study on the simulator, scanflow

1. Úvod

Letecká doprava patrí medzi najrýchlejšie sa rozvíjajúce odvetvie dopravy. Je zároveň jej najbezpečnejšou oblasťou. Svoj titul najbezpečnejšej dopravy si ale nezaslúžila iba svojou vysokou technologickou úrovňou, ale aj prístupom a prísnosťou výcviku posádok, riadiacich letovej prevádzky, technikov alebo iného pozemného personálu. Z toho vyplýva, že hlavná orientácia civilnej komerčnej dopravy je na bezpečnosť. Bez toho, aby každý prvok zahrnutý v tejto oblasti dbal na bezpečnosť vykonávania leteckej prevádzky a ňou sprevádzaných aktivít, by došlo k narušeniu integrity štruktúry tejto prevádzky a k ohrozeniu života mnohých ľudí, či už priamo zúčastňujúcich sa na leteckej doprave alebo mimo nej.

Cieľom článku je zanalyzovať prístrojové vybavenie lietadiel, ktoré sú zahrnuté v rámci výcviku pre lety podľa prístrojov v Leteckom výcvikovom a vzdelávacom centre Žilinskej univerzity v Žiline. Následne sa pozrieť na činnosti, ktoré pilot vo výcviku počas letu musí vykonávať popri samostatnom riadení lietadla a ovplyvňujú jeho situačné povedomie. Cieľom toho je analyzovať možné hrozby, pri ktorých by mohlo dôjsť k či už prechodu do tunelového videnia alebo k strate situačného povedomia.

Ďalej je priblížená už zaužívaná metóda skenovania nie len prístrojov – scanflow. Analýzou na simulátore BITD na pilotoch vo výcviku je snaha zistiť povahu situačného povedomia a jeho aktuálneho stavu. Táto analýza je zameraná aj na zistenie, či nálet priamo súvisí s úrovňou situačného povedomia, a či piloti vedia ako reagovať na vzniknutú poruchu.

Výsledkom je návrh aplikácie scanflow pre monitorovanie motorových prístrojov vo výcviku na LVVC a opatrení pre zvýšenie situačného povedomia a bezpečnosti vykonávania letu.

2. Rozdelenie zobrazovania motorových prístrojov

Pilot počas letu potrebuje, aby mal k dispozícii informácie, na základe ktorých vie určiť, či pohonná jednotka lietadla funguje správne a či je v takom režime, ktorý je adekvátny k danej fáze letu. Zároveň je dôležité, aby pilot dbal na správne nastavovanie motora, aby predišiel jeho zvýšenému namáhaniu, opotrebovávaniu, zvýšenej a neekonomickému spotrebe. Z toho dôvodu sú do lietadiel montované budíky, zobrazujúce potrebné parametre. Tie môžu byť analógové, alebo digitálne. Môžu byť integrované v jednom display, alebo samostatne osadené. V nasledujúcej časti sa oboznámime s lietadlami používanými na výcvik na Žilinskej univerzite a ich prístrojovým vybavením.

2.1. Piper Arrow

Budíky zobrazujú parametre ako tlak oleja, teplotu oleja, teplotu hláv valcov, tlak v sacom potrubí, spotrebu paliva a otáčky vrtule sú rozdelené do dvoch typov. Jeden má kruhový charakter, pre tie, ktoré sú priamo nastaviteľné cez radiace páky. Druhý má charakter obdĺžnikový pre tie, ktoré informujú o stave ostatných parametrov. Umiestnenie budíkov je ergonomické a prehľadné, sú umiestnené v spodnej časti palubnej dosky na strane vľavo sediaceho pilota. Kruhové budíky sú väčšieho rozmeru a zobrazujú dôležité parametre. Tento spôsob zobrazenia umožňuje rýchlu a jednoduchú kontrolu parametrov, avšak ich poloha môže byť nevýhodná v závislosti na výške pilota a polohe radiacej páky. Budíky informujú predovšetkým o prevádzkovom rozmedzí parametrov, nie o presných hodnotách.



Obrázok 1. Zobrazenie motorových prístrojov Piper Arrow

2.2. Piper Seneca

Usporiadanie budíkov na lietadle Piper Seneca na lietadlách zaradených vo výcviku sa dá rozdeliť na to s "glass" a "classic" kokpitom. V lietadle s "glass" kokpitom sú budíky motorových parametrov umiestnené v pravej časti palubnej dosky pilota na ľavej sedačke a sú rozdelené do dvoch stĺpcov pre ľavý a pravý motor. Budíky zobrazujú rôzne parametre ako plniaci tlak v sacom potrubí, otáčky vrtule, teplotu výstupných plynov, prietok paliva, teplotu hláv valcov a tlak oleja. Toto usporiadanie umožňuje jednoduché odčítanie hodnôt pre každý motor a ich porovnávanie, pričom sú vybavené aj stupnicou pre presnejšie určenie hodnôt.



Obrázok 2. Zobrazenie motorových prístrojov Piper Seneca V

V prípade lietadiel s "classic" kokpitom je usporiadanie budíkov podobné ako u Piper Arrow, kde sú použité obdĺžnikové budíky usporiadané do stĺpcov. Tieto budíky sú bližšie k radiacej páke a zobrazujú parametre ako tlak oleja, teplotu oleja, teplotu hláv valcov a objem palivových nádrží. Avšak na budíkoch je len vyznačené prevádzkové rozpätie, nie stupnica.

Parametre, ktoré možno priamo nastaviť, ako sú otáčky a plniaci tlak, sú zobrazované v kruhových budíkoch, ale nie sú zdvojené. Na jednom budíku sú zobrazené hodnoty pre ľavý a pravý motor, pričom ak sú hodnoty rovnaké, jedna ručička prekrýva druhú.



Obrázok 3. Zobrazenie motorových prístrojov Piper Seneca III

3. Situačné povedomie na palube

Situačné povedomie je kritickým aspektom vo výcviku a praxi lietania, definovaný ako schopnosť vnímať, uvedomovať si a predvídať situácie v určitom časovom a priestorovom kontexte. Zameriava sa na tri úrovne: vnímanie, uvedomovanie si situácie a predvídanie situácií. Chyby v situačnom povedomí, najmä pri lietaní, môžu mať vážne dôsledky a súvisia s chybami v správnom vnímaní a interpretácii informácií.

Podľa Endsley klasifikácie existujú rôzne chyby v jednotlivých úrovniach situačného povedomia. V úrovni vnímania môže dôjsť k neschopnosti získať alebo správne interpretovať dostupné informácie, čo môže byť spôsobené napríklad šumom v kabíne alebo nevhodným osvetlením kokpitu. Pri druhej úrovni, ktorá sa týka uvedomovania si situácie, môže dôjsť k nedostatočnému vyhodnoteniu informácií a vzťahov medzi nimi, napríklad pri identifikácii zvukov motora alebo alarmov v kokpite. Chyby v tretej úrovni, predvídaní situácií, môžu byť spôsobené nedostatočným alebo nesprávnym mentálnym modelom.

V kontexte letectva je monitorovanie motorových prístrojov počas letov podľa pravidiel IFR kľúčové, avšak môže byť často zanedbané, najmä pri začínajúcich pilotov. Počas letov VFR (vizuálneho letu) je pozornosť pilota väčšinou mimo prístrojov a viac zameraná na vizuálne vnímanie podnetov okolia a lietadla. Prechod na lety podľa pravidiel IFR vyžaduje väčšiu pozornosť na prístroje a navigáciu. Pre pilotov je dôležité vyvážiť tieto nové úlohy a zabezpečiť, aby sa neodchýlili od sledovania dôležitých parametrov lietadla. Nedostatočná pozornosť na monitorovanie motorových prístrojov môže mať vážne dôsledky a zvýšiť riziko nehody. Celkovo, schopnosť udržať si situačné povedomie a monitorovať dôležité parametre lietadla je kľúčová pre bezpečnosť letu, najmä v náročných podmienkach letu podľa prístrojov.[1][2]

4. Činnosti pilota počas letov IFR

V nasledujúcej kapitole si priblížime činnosti pilota vo výcviku, ktoré by mal a musí robiť počas letu, pozrieme sa na predletovú prípravu a dbanie na rozdelenie úkonov už pred samostatným vykonaním letu.

4.1. Komunikácia

Rozdiely v komunikácii počas letov IFR v porovnaní s VFR sú významné. Okrem frazeológie sa líšia aj v situáciách, povoleniach a dynamike komunikácie. Piloti, ktorí prechádzajú z VFR na IFR, sú zvyknutí na komunikáciu po slovensky, preto je dôležité, aby sa už pred začiatkom IFR výcviku oboznámili s anglickou frazeológiou. Toto zabezpečí, že piloti budú schopní komunikovať bez stresu a nedôjde k nedorozumeniam, najmä keď požiadajú ATC o povolenia alebo navigačné inštrukcie, s ktorými sa stretávajú denne, ako sú odletové a príletové trate, radiály, vstup do holdingov a ďalšie situácie.

Pri traťových letoch IFR môže prísť k menšiemu počtu zmien frekvencií oproti traťovým letom VFR, ale množstvo komunikácie je variabilnejšie a častejšie. Počas letov IFR je pilot nútený komunikovať s ATC na rôznych frekvenciách, ktoré môžu vyžadovať rôzne povolenia a inštrukcie. Komunikácia na frekvenciách pri lete IFR je preto dynamická a môže zahŕňať rôzne situácie a povolenia, ktoré si pilot musí vedieť správne interpretovať a vykonávať. Znalosť anglickej frazeológie je preto

nevyhnutná pre bezpečnú a efektívnu komunikáciu počas letov podľa pravidiel IFR.

4.2. Brífingy a zoznamy kontrolných úkonov

Správne vykonanie brífingu pred letom, počas letu a po lete je kľúčové pre pripravenosť pilota na rôzne situácie, ktoré môže počas letu stretnúť. Predletový brífing umožňuje pilotovi analyzovať plánovaný let a pripraviť sa na možné problémy či nástrahy. Napríklad, pred odletom zo Žiliny do Ostravy môže pilot počúvať ATIS letiska Ostrava, čo mu umožní získať informácie o dráhe, typu priletu a očakávanej priletovej trati. Na základe týchto informácií si môže pilot naplánovať klesanie, frekvencie a ďalšie úkony potrebné pre pristátie.

Zoznam kontrolných úkonov je tiež dôležitý, ale je potrebné ho vykonávať v správnom čase. Je dôležité, aby pilot mal jasno v tom, kedy má vykonať rôzne úkony, aby nedochádzalo k ich vykonávaniu v nevhodných momentoch, ako sú zatáčky alebo zmeny frekvencií. Prípadne, aby sa predišlo vykonávaniu úkonov v nesprávnom poradí alebo ich opakovaniu kvôli zabudnutiu. Tento prístup minimalizuje rušenie myšlienkových procesov pilota a zvyšuje efektivitu letu.

4.3. Organizácia nákolenníka

Správne usporiadanie a organizácia nákolenníka je kľúčové pre efektívne riadenie letu. Je dôležité, aby nákolenník obsahoval len nevyhnutné veci a bol zoradený v logickom poradí. Nie je vhodné, aby všetky potrebné mapy boli umiestnené za sebou v jednom nákolenníku, pretože to môže spôsobiť zbytočné strácanie času pilotom pri hľadaní správnej mapy.

Pri umiestnení všetkých máp do nákolenníka pilot stráca veľa času listovaním a hľadaním konkrétnej mapy. Tento zvýšený "head down time" môže viesť k poklesu situačného povedomia a vytvorí prostredie pre skĺznutie do tunelového videnia. Preto sa odporúča pilotom, aby mali so sebou samostatné zväzky máp letísk na trati, ktoré si pred letom zorganizujú do vhodného formátu.

Použitie štípcov alebo iných metód organizácie zväzkov máp umožňuje pilotovi rýchlo a efektívne zmeniť alebo upraviť zväzok v prípade zmeny trasy alebo iných okolností. Po ukončení činnosti v danom letisku môže pilot tento zväzok máp jednoducho odstrániť z nákolenníka. Správne usporiadanie a organizácia nákolenníka teda prispieva k bezpečnému a plynulému priebehu letu.

4.4. Nastavenie prístrojov

Nastavovanie prístrojov počas letu je kritickou časťou riadenia lietadla a vyžaduje si pozornosť pilota. Pri prioritizácii úloh je dôležité dodržiavať poradie letieť-navigovať-komunikovať. Avšak v prípade nastavenia GPS a rádionavigačných frekvencií je vhodné, aby pilot tieto úkony vykonal už pred vzletom, aby sa minimalizovala potreba ich nastavovania počas letu.

GPS je jedným z hlavných prístrojov, ktoré by mali byť pred letom správne nastavené. Prednastavenie celého letového plánu do GPS a nastavenie očakávaných priletových a odletových tratí umožňuje pilotovi rýchle a efektívne vykonanie potrebných úkonov.

Podobne je dôležité prednastaviť rádionavigačné a komunikačné frekvencie, aby pilot nemusel počas letu hľadať a ladiť tieto frekvencie. Prednastavenie týchto frekvencií ako "STANDBY" umožňuje rýchle prepnutie na potrebnú frekvenciu bez zbytočného odvádzania pozornosti od riadenia lietadla.

Využitie autopilota vo výcviku by malo byť limitované, aby sa pilot naučil riadiť lietadlo manuálne a vedel efektívne spravovať pozornosť v kokpíte. Autopilot môže viesť k nedostatočnej pozornosti pilota a zvýšenému riziku nebezpečných situácií. Avšak autopilot môže byť užitočný pri vykonávaní úkonov, ktoré si vyžadujú väčšiu pozornosť pilota, ako je brífing, preladovanie frekvencií alebo modifikácia GPS.

5. Scanflow

Dôkladné monitorovanie prístrojov v kokpíte je kritickým prvkom zabezpečenia bezpečnosti počas letu. Posádka lietadla musí neustále aktualizovať svoje situačné povedomie a sledovať dôležité parametre letu. Neustále skenovanie prístrojov a aktualizácia informácií umožňuje pilotom identifikovať a riešiť odchýlky a prípadné problémy včas.

Monitorovanie prístrojov je kognitívne náročná úloha, ale nevyhnutná pre reakciu v prípade odchýlky parametrov letu. Dôležité je sledovať špecifické letové prístroje, ako sú umelý horizont, rýchlomer, výškomer a parametre motora, najmä počas dynamických fáz letu, ako sú vzlet, pristátie a manévry.

Výskumy ukázali, že nedostatočné monitorovanie kokpitu bolo príčinou mnohých leteckých nehôd. Podľa NTSB sa nevhodné monitorovanie podpísalo na 84 % závažných leteckých nehôd v Spojených štátoch. Porušenie postupu monitorovania môže ohroziť bezpečnosť letu a narúšať bezpečnostné rezervy posádky. Mnohé letecké nehody boli spôsobené neprimeraným, neúčinným alebo nedostatočným vizuálnym skenovaním pilotov.

Pre zlepšenie monitorovania kokpitu boli vyvinuté rôzne programy a systémy, ako napríklad používanie systémov na sledovanie očí. Štúdie ukázali, že piloti potrebujú lepšie pochopiť "štandardné" vizuálne obrazce v pilotnej kabíne, aby zlepšili svoje schopnosti monitorovania prístrojov.

Zlepšenie monitorovania prístrojov je dôležitou súčasťou leteckého výcviku a bezpečnostných opatrení, aby sa minimalizovalo riziko leteckých nehôd spojených s nedostatočným sledovaním kokpitu. [3][4][5][6]

5.1. Aplikácia scanflow v praxi

V súčasnosti je v lietadle väčšie množstvo prístrojov ako v minulosti, čo vyžaduje presnejšie a štruktúrovanejšie metódy monitorovania. Jednou z najpoužívanejších metód je metóda radiálneho selektívneho pozorovania, kde je umelý horizont hlavným prístrojom a ostatné prístroje sa sledujú ako pomocné. Táto metóda umožňuje pilotovi efektívne prenášať pozornosť medzi prístrojmi a minimalizovať riziko chýb.

Ďalšou dôležitou metódou je "scanflow", čo je vopred definovaný obrazec, podľa ktorého pilot skenuje prístroje a kontroluje ich stav. Tento postup umožňuje pilotovi systematicky monitorovať kritické prvky kokpitu a minimalizovať riziko prehliadnutia dôležitých informácií.

Zoznam kontrolných úkonov a skenovací obrazec sú dva súvisiace aspekty, ktoré sa navzájom dopĺňajú. Zoznam kontrolných úkonov poskytuje detailný prehľad úkonov, ktoré treba vykonať, zatiaľ čo skenovací obrazec umožňuje pilotovi systematicky kontrolovať ich vykonanie.

Je dôležité, aby piloti boli dôkladne oboznámení s týmito metódami a ich aplikáciou vo výcviku a praxi. Správne rozdelenie pozornosti a efektívne monitorovanie prístrojov sú kľúčovými faktormi zabezpečujúcimi bezpečnosť letu.[7]

6. Metodika a metodológia

V nasledujúcej kapitole sa budeme venovať štúdiu na simulátore, ktorej cieľom bolo zistiť, aký majú piloti reakčný čas na vzniknutú abnormalitu. Taktiež nás zaujímala reakcia na danú situáciu.

Na vyhodnotenie sme použili kvantitatívnu metódu s diskretnými hodnotami. Namerané hodnoty sme vložili do tabuliek a vytvorili z nich priemer, maximum a minimum. Hlavným cieľom bolo pozrieť na možnú zápornú koreláciu medzi nalietaným počtom hodín, takže skúsenosťami a medzi reakčným časom. Hypotéza je, že u pilota s vyšším náletom je reakčný čas kratší ako u pilota s menším náletom. Ako zaujímavosť sme do skúmania zapojili aj nepilota aby sme zistili, či je situačné povedomie niečo, čo sa dá postupným výcvikom zlepšiť, alebo je to schopnosť, ktorá na úroveň výcviku nemá vplyv a vychádza čisto z predispozície jednotlivcov.

Po zaznamenaní hodnôt odzrkadľujúcich reakčný čas bola pilotom pokladaná otázka aby povedali, respektíve vykonali také opatrenia, aké sú podľa nich vhodné na vyriešenie vzniknutej situácie. Následne bola urobená štatistiku odpovedí, kde sme vytvorili grafické zobrazenie odpovedí. Vytvorením súboru odpovedí sa pozrieme na najčastejšie odpovede. Budeme túto skutočnosť porovnávať z úkonmi, ktoré sú pre danú situáciu správne. Tu nás zaujímalo, či pilot nie len že správne analyzuje situáciu, ale aj vykoná a vie aké opatrenia má vykonať.

Opakovaným vykonávaním vzniku abnormálnych situácií sme sledovali, či si pilot po prvom raze začne dávať viac pozor na danú oblasť výskytu abnormality, teda či zostane monitorovať daný motorový parameter. Je to zároveň pozorovanie 3. úrovne situačného povedomia – predvídanie situácie. Vieme následne vďaka hodnote nasledujúceho reakčného času určiť, či si bol pilot vedomý možného návratu už skôr vzniknutej situácie, alebo po jej vyriešení danú situáciu „vyškrtol“ zo svojich oblastí skenovania a venoval sa už len iným prístrojom. Je predpoklad, že prvá nameraná hodnota bude najvyššia a jej hodnota bude mať klesajúcu tendenciu.

7. Štúdia činností pilota na simulátore BITD

Na vykonanie pozorovania sme vybrali letisko Žilina (ICAO:LZZI,IATA:ILZ) vzhľadom na to, že je to domovské letisko Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra a Žilinskej univerzity. Počasie bolo nastavené nasledovne : atmosférický tlak bol 1013 hPa, bezvetrie, základňa oblačnosti v 2500 stopách a vertikálna mohutnosť dosahovala do výšky 4000 stôp. Čo sa týka množstva oblačnosti, bolo zamračené (OVC). Dohľadnosť bola 5 km. Čas v simulátore bol nastavený na 14:00.

7.1. Činnosť pilota

Poloha lietadla bola dopredu nastavená na prah dráhy 06. Lietadlo bolo naštartované, malo plné palivové nádrže a potrebné komunikačné frekvencie a frekvencie pozemných rádionavigačných zariadení boli už naladené. Táto dráha je na letisku Žilina jedinou prístrojovou dráhou a preto bola zvolená na vzlet. Pilot bol dopredu oboznámený s úlohou a boli mu poskytnuté mapy na potrebnú navigáciu počas vykonávania letu. Mapa prístrojového odletu pre dráhu 06 a mapa priblíženia na dráhu 06 za pomoci ILS. Po vzlete pilot pokračuje podľa štandardného prístrojového odletu z dráhy 06 a stúpa do povolenej výšky 4500 stôp. Po vzlete zasúva podvozok a vztlačkovú mechanizáciu. Po dosiahnutí výšky 2500 stôp točí ľavou zatáčkou na pozemné rádionavigačné zariadenia NDB ZLA a nalietať smerník 224 QDM. Pokračuje v stúpaní do 4500 stôp. Momentom dosiahnutia NDB ZLA pre neho končí štandardný prístrojový odlet a napája sa už na prístrojové priblíženie ILS pre dráhu 06. Skrátene odletovej trate je z dôvodu potrieb štúdie a jej zamerania.

Po preletení NDB ZLA pilot klesá do výšky 4000 stôp a pokračuje kurzom 225 a letí až do vzdialenosti 10,7 NM od LOC DME ZNA. Po dosiahnutí tejto vzdialenosti pravou zatáčkou nalietať kurzový maják ILS pre dráhu 06, ktorý je 059 °. Po dotočení zatáčky uvádza pilot lietadlo do konfigurácie na priblíženie a pokračuje v lete. Nasleduje zostupovú rovinu až do minim a následne pristáva.

7.2. Činnosť operátora-pozorovateľa

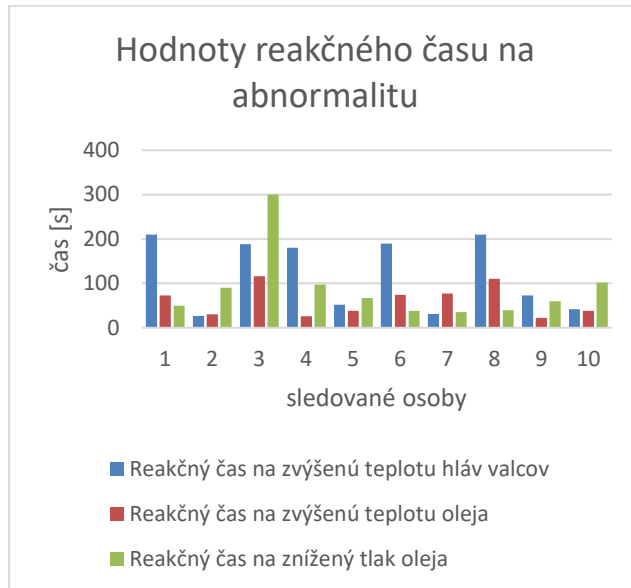
Po vzlete pozorovateľ nijak nevstupuje do vykonávania letu až do okamihu, kedy pilot začína točiť zatáčku v 2500 stopách. V tom momente manuálne cez ovládacie rozhranie zvýšil teplotu hláv valcov. Po preletení NDB ZLA zvýšil teplotu oleja a pri točení na finále znížil tlak oleja a zapínal časomieru. Od toho momentu začalo prebiehať meranie a pozorovanie činností pilota. Časomiera sa zastavila buď pilotovým ohlásením abnormality, alebo pristátím v prípade, že pilot túto abnormalitu nezaznamenal. V prípade, že pilot abnormalitu rozpoznal, identifikoval a vykonal, respektíve ohlásil kroky k jej vyriešeniu, boli tieto kroky zaznamenané spolu s časom reakcie na rozpoznanie vzniknutej abnormality. Ak však pilot pristál bez žiadnej reakcie na vzniknutú situáciu, bol mu zaznamenaný iba čas, od vzniku abnormality až po pristátie. Následne bola hodnota obnovená a pilot pokračoval v lete. V niektorých prípadoch, keď si pozorovaný pilot dlhšie nevšimol vzniknutý nárast motorových parametrov, znížil výkon motora o 20 % a sledoval, či na zvuk poklesu zareagujú a správne ho vyhodnotia.



Obrázok 4. Pilot počas štúdie

8. Výsledky

Spolu bolo v rámci štúdie vykonané pozorovanie na 9 pilotoch a jednom nepilotovi. Bolo spolu nameraných 30 parametrov zaznamenávajúcich reakčný čas. Tieto namerané hodnoty sú graficky znázornené v nasledujúcom grafe. Prvá hodnota zobrazuje reakciu na zvýšenú teplotu hláv valcov pri prvom zatáčaní na ZLA pri odlete z dráhy 06. Druhá hodnota je reakčný čas na zvýšenú teplotu oleja pri zatáčaní nad majákom ZLA a tretia hodnota odzrkadľuje hodnotu reakčného času na znížený tlak oleja počas zatáčania na finále pre dráhu 06.



Graf 1. Graf hodnôt reakčného času

Cieľom grafu je ukázať, či sa potvrdil predpoklad, že reakčný čas bude mať klesavú tendenciu. Ako možno z grafu vidieť, u niektorých sledovaných pilotov sa tento predpoklad potvrdil, ale na väčšej časti sledovaných je vidno nepravidelnosť, v niektorých prípadoch opačnú tendenciu.

U každého pozorovaného prišlo k zvýšeniu teploty hláv valcov motora ako prvej abnormality a teda každý po následnom spozorovaní uviedol jeho úkony, ktoré spravil. V diagrame je zobrazené rozdelenie jednotlivých odpovedí, čo sa týka percentuálneho rozdelenia vzhľadom na celkový počet vykonaných úkonov.

ÚKONY POZOROVANÝCH OSÔB

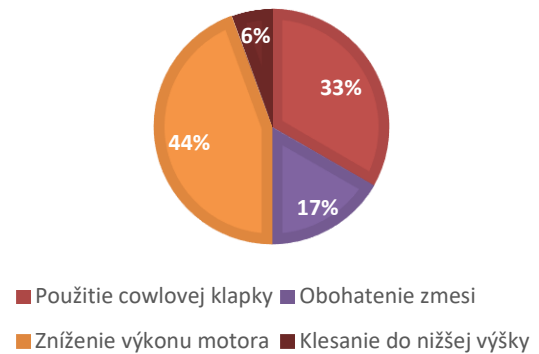
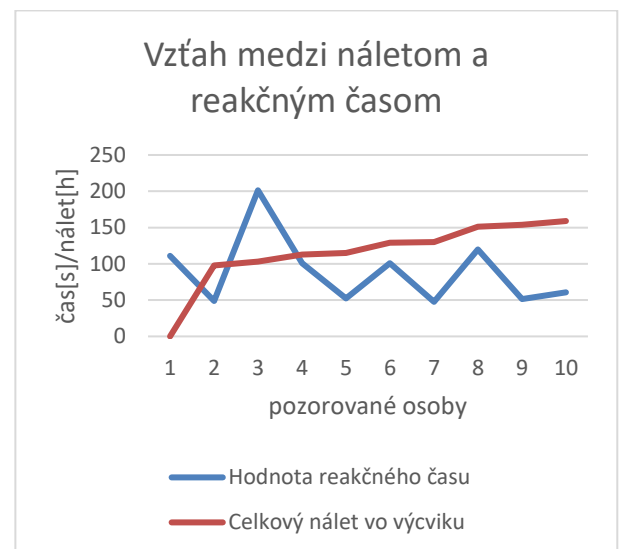


Diagram 1. Percentuálne rozdelenie odpovedí pozorovaných osôb

Ako je z diagramu vidieť, najčastejší úkon pri zvýšení teploty hláv valcov motora bolo použitie Cowlovej klapky. Následne piloti na druhom mieste ako vhodné riešenie vykonávali zníženie výkonu motora. Traja piloti považovali za dobré pri riešení abnormality obohatenie zmesi paliva a vzduchu a jeden pilot považoval za vhodné začať klesať.

Nasledujúci graf zobrazuje vzťah medzi nalietaným počtom hodín a priemerom hodnoty reakčného času danej osoby. Červenou farbou je zobrazená krivka odzrkadľujúca celkový počet nalietaných hodín vo výcviku. Modrou farbou je označená krivka zobrazujúca priemernú hodnotu reakčného času u danej sledovanej osoby. Jednotky na stupnici sú sekundy pre hodnoty reakčného času a hodiny pre počet nalietaných hodín.



Graf 2. Vzťah medzi hodinovým náletom a reakčným časom

Náš predpoklad, ako je už z grafu jasné, sa nepotvrdil. Je vidno, že graf má svoje lokálne extrémny, a že sa nedá hovoriť o plynulom znižovaní hodnoty reakčného času s vyšším nalietaným počtom hodín. Môže to byť teda signálom toho, že situačné povedomie ako samé o sebe negatívne nekoreluje so skúsenosťami. Keď hovoríme o skúsenostiach, máme na mysli iba počet nalietaných hodín. Teoretické vedomosti a úroveň

profesionálneho prístupu sa v tejto štúdií nehodnotí. Zároveň to môže evokovať to, že je potreba zvyšovať situačné povedomie či už teoretickým výcvikom, alebo poukazovaním na konkrétne veci, ktoré treba vykonávať, prípadne zadefinovaním štandardných postupov na správne vykonávanie skenovania prístrojov lietadla, aby sa tak zvýšila úroveň bezpečnosti vykonávania letu. Taktiež to môže ukazovať individuálne predispozície na vnímanie prostredia a schopnosti adaptívneho rozdeľovania pozornosti pre danú fázu letu.

9. Návrh opatrení pre zvýšenie situačného povedomia

9.1. Skenovací obrazec pre Piper Arrow



Obrázok 5. Návrh skenovacieho obrazca pre Piper Arrow

Pri návrhu boli do úvahy zobrazené nasledovné faktory. Začiatok skenovania začína pri dvojici budíkov zobrazujúcich tlak v sacom potrubí a hodinovú spotrebu na kombinovanom budíku a otáčky vrtule na druhom budíku. Je to z toho dôvodu, že tieto parametre sú priamo nastaviteľné parametre za pomoci riadiacich pák a zároveň sú to hlavné motorové prístroje. Následne sa presúva pozornosť o úroveň vyššie a prechádza zobrazením stavu pravej palivovej nádrže, teploty hláv valcov a následne stavu ľavej palivovej nádrže. Prečo do skenovacieho obrazca motorových prístrojov zapájame aj zobrazenie palivových nádrží bude spomenuté neskôr. Následne sa pokračovanie skenovania presúva na ľavú stranu palubnej dosky kde sa nachádza voltampér meter, budík pre teplotu a nakoniec pre tlak oleja.

9.2. Skenovací obrazec pre Piper Seneca



Obrázok 6. Návrh skenovacieho obrazca pre Piepr Seneca V

Ako základný smer skenovania bol určený zhora dole. Je to z toho dôvodu, že primárne motorové budíky sa nachádzajú v horných radoch. Princíp teda je rovnaký ako u predošlého modelu, smerovanie od primárnych k sekundárnym. Bola zvolená metóda porovnávania motoru voči motoru. Z nášho pohľadu je to vhodná metóda, lebo počas skenovania

nehodnotíme len to, či je parameter daného motora taký, aký očakávame, alebo chceme aby bol, ale zároveň ho konfrontujeme voči druhému motoru a porovnávame či sú dané parametre rovnaké respektíve podobné. Či je daná hodnota v súlade s danou fázou letu alebo ide o abnormalitu. Zvolený postup prenášania pozornosti počas monitorovania začínajúc u ľavého stĺpca (motora), smerom doprava k pravému stĺpcu (motoru), vychádza z myšlienky, že rovnako tak aj pri synchronizácii vrtúľ je u tohto lietadla ľavý motor určený ako hlavný motor a pravý motor je vybavený podriadeným regulátorom, ktorý automaticky udržiava otáčky ľavého motora.[8]



Obrázok 7. Návrh skenovacieho obrazca pre Piper Seneca III

Zvolený postup obrazca opäť vychádza z konceptu prenášania pozornosti smerom od primárnych k sekundárnym motorovým prístrojom. Preto začiatok skenovania začína na budíku nachádzajúcom sa vo vrchnej pozícii stĺpca na pravej strane zobrazujúcom plniaci tlak v sacom potrubí. Následne prechádza cez budík zobrazujúci otáčky vrtúľ, teploty výstupných plynov až na spodný budík zobrazujúci hodinovú spotrebu oboch motorov. Následne pilot diagonálne prenesie pohľad do polovice druhého stĺpca kde podobnou porovnávacou metódou, aká bola už spomenutá pri verzii V, skontroluje ostatné parametre spolu s komparáciou parametrov medzi ľavým a pravým motorom.

9.3. Úprava zoznamu kontrolných úkonov

Ďalším bodom návrhu aplikácie metódy skenovacieho obrazca na monitorovanie motorových prístrojov je nahradenie bodu ENGINE INSTRUMENTS – CHECKED bodom ENGINE INSTRUMENTS – SCANFLOW – CHECKED. Môže sa to javiť ako malá úprava, ale z nášho pohľadu je opodstatnená. Ide o kladenie dôrazu na správne vykonanie kontrolného úkonu motorových prístrojov.

DESCENT

MIXTURE	SLOWLY FULL FORWARD TO RICH
ENGINE INSTRUMENTS	CHECKED
COWL FLAPS	AS REQUIRED
DESCENT POWER	NOT BELOW 18 MAP

Obrázok 8. Pôvodný zoznam kontrolných úkonov

DESCENT	
MIXTURE	SLOWLY FULL FORWARD TO RICH
ENGINE INSTRUMENTS	SCANFLOW CHECKED
COWL FLAPS	AS REQUIRED
DESCENT POWER	NOT BELOW 18 MAP

Obrázok 9. Návrh zmeny bodu v zozname kontrolných úkonov

9.4. Úprava významu červenej čiary

Navrhujeme úpravu významu červenej čiary v navigačnom štítku, ktorá by mohla pomôcť pilotom monitorovať motorové parametre počas letu. Červená čiara je zvyčajne spojená s prepínaním paliva, ale navrhujeme pridať k tomuto úkonu aj skenovanie ďalších dôležitých parametrov. Tento návrh by bol užitočný pre dlhšie lety, kedy sa prepínanie palivových nádrží vykonáva po dosiahnutí cestovnej hladiny. Toto prepojenie medzi prepínaním palivových nádrží a skenovaním parametrov by pomohlo udržať situačné povedomie o stave motorových parametrov počas horizontálneho letu. Okrem toho je dôležité správne naplánovať vykonávanie rôznych aktivít spojených s červenou čiarou, aby nedochádzalo k preťaženiu pilota a zabezpečilo sa bezpečné vykonávanie letov.

10. Záver

Výcvik nových pilotov je kľúčový pre rozvoj leteckej dopravy, najmä v súvislosti so zmenami v koncepte lietadiel a požiadavkami na jednotlivých pilotov. Súčasná tendencia smeruje k zníženiu počtu členov posádky na jeden let, čo kladie väčší dôraz na manažovanie si aktivít počas letu. Dôležité je vedieť udržať správne rozloženie pozornosti medzi všetkými úlohami, ktoré piloti musia vykonávať, a schopnosť manažovať si tieto aktivity je dôležitou súčasťou výcviku.

Metóda skenovacieho obrazca sa ukazuje ako užitočný nástroj na udržanie situačného povedomia o stave motorových parametrov počas letu. Táto metóda uľahčuje pilotom prácu pri výkone skenovania prístrojov tým, že poskytuje štandardizovaný postup prenosu pozornosti medzi jednotlivými prístrojmi.

Štúdiá na simulátore poukazujú na potrebu zvýšenia povedomia o motorových parametroch u pilotov v počiatočnom aj pokročilom výcviku. Navrhnuté opatrenia, ako skenovací obrazec, úprava zoznamu kontrolných úkonov a významu červenej čiary, by mohli prispieť k zvýšeniu efektivity a bezpečnosti vykonávania letu.

Referencie

- [1] ENDSLEY, Mica R. (1999) Situational Awareness In Aviation Systems.[online] Dostupné dňa 16.3.2024 na : <https://www.pacdeff.com/pdfs/AviationSA-Endsley%201999.pdf>
- [2] Muehlethaler, Céline M. a Knecht, Chiara P. (2016) Situation Awareness Training for General Aviation Pilots using Eye Tracking.[online] Dostupné dňa 16.3.2024 na : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316320535?via%3Dihub>

- [3] ENDSLEY, Mica R. (1997) Supporting situation awareness in aviation systems. In 1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation (Vol. 5, pp. 4177-4181). IEEE. [online] Dostupné dňa 16.3.2024 na : <https://ieeexplore.ieee.org/document/637352>
- [4] WEI, H., ZHUANG, D., WANYAN, X., a WANG, Q. (2013) An experimental analysis of situation awareness for cockpit display interface evaluation based on flight simulation. Chinese Journal of Aeronautics, 26(4), 884–889. [online] Dostupné dňa 16.3.2024 na : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936113001040?via%3Dihub>
- [5] National Transportation Safety Board (1994) A Review of Flightcrew-Involved, Major Accidents of U.S. Carriers, 1978 through 1990, Safety Study NTSB/SS-94/01. [online] Dostupné dňa 16.03.2024 na : <https://www.ntsb.gov/safety/safety-studies/Documents/SS9401.pdf>
- [6] LEFRANCOIS, O., MATTON, N., GOURINAT, Y., PEYSAKHOVICH, V., a CAUSSE, M. (2016) The role of Pilots' monitoring strategies in flight performance. [online] Dostupné dňa 16.3.2024 na : <https://enac.hal.science/hal-01405262/document>
- [7] KŘÍŽ J. a kolektív (2007) Metodika pilotného výcviku na letovom simulátore, prvé vydanie, Žilinská univerzita v Žiline, ISBN 978-80-8070-793-4
- [8] Piper (1997) SENECA V PA-34-220T (1999 KG) Pilot's operating handbook and FAA approved airplane flight manual



UPLATNENIE LIETADIEL RODINY AIRBUS A320 NEO A BOEING 737 MAX NA EURÓPSKOM TRHU

Marek Helt
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Frederik Chodelka
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

An article is devoted to the application of the Airbus A320 NEO and Boeing 737 MAX family aircraft on the European market. It describes the history and origin of individual aircraft families, their technical parameters, the division of generations and a description of models. Consequently, common and different features of both families, their use and equipment are found in this work. The article also includes a section on methodology and methodologies, which describes what research methods were used in the work. The last chapters of the thesis are devoted to the disease Covid-19 and the impact on air transport. These chapters describe two crashes of 737 MAX aircraft and their subsequent return to service after grounding.

Keywords

Airbus, Boeing, A320, B737, NEO, MAX, aircraft, airlines, European market

1. Úvod

Civilná letecká doprava slúži na vykonávanie letov vo vzdušnom priestore podľa noriem platných pre civilné letectvo, nielen v Európskej únii, ale aj v rámci celého sveta. Leteckú dopravu možno považovať za najrýchlejší a najbezpečnejší spôsob prepravy vo svete, a súčasne tvorí základ ekonomických a hospodárskych činností každého štátu. Od prvého historického letu bratov Wrightovcov v roku 1903 prešlo v 20. storočí letectvo významnými konštrukčnými, technickými, dizajnovými a softvérovými zmenami, ktoré boli ovplyvnené aj spoločenskými a hospodárskymi faktormi. V súčasnosti sa letecká doprava využíva na celom svete pre osobnú aj nákladnú dopravu.

2. Súčasný stav riešenej problematiky doma a v zahraničí

Lietadlo ako dopravný prostriedok slúži na prepravu pasažierov alebo nákladu a letecká doprava je považovaná za najbezpečnejší a najrýchlejší spôsob prepravy na veľké vzdialenosti. V súčasnosti sa vo svete nachádza veľa výrobcov lietadiel, medzi najznámejších patria spoločnosti Airbus alebo Boeing. Títo výrobcovia sú dlhoroční rivali, ktorí určujú, kam sa bude letecká doprava počas najbližších rokov uberať. Súperia medzi sebou hlavne o objednávky lietadiel od leteckých spoločností a snažia sa ponúknuť ten najlepší letún pre svojich potencionálnych zákazníkov. Airbus či Boeing ponúkajú veľa typov lietadiel – od menších, ktoré sú konštruované na krátke trate, až po veľké, s veľkým počtom sedadiel pre pasažierov, zameriavajúcich sa na medzikontinentálne lety. Tieto lietadlá ponúkajú množstvo modifikácií alebo vylepšení určených na prepravu VIP pasažierov, alebo nákladu. V nasledujúcom článku sa zameriame na "úzkotrupé", najviac vyrábané lietadlá, so stredným doletom a primeranou kapacitou pasažierov od oboch výrobcov.

3. Všeobecné charakteristiky lietadiel rodiny Airbus A320

Lietadlá firmy Airbus vznikli spoločným úsilím niekoľkých európskych výrobcov letúnov. Dňa 17. decembra 1970 vzniklo konzorcium s názvom Airbus Industrie G.I.E. Do projektu sa zapojili firmy ako Aerospatiale (zlúčenie Sud Aviation s podnikom SEREB) a Deutsche Airbus (pozostávajúci z firmami Messerschmitt, Bolkow, Blom a VFW-Fokker). Neskôr sa ku konzorciu pridala aj španielska firma CASA. Výrobca Hawker Siddeley (zlúčený s firmou de Havilland) zo Spojeného kráľovstva nebol priamym partnerom konzorcia, no pôsobil ako subdodávateľ poverený návrhom a stavbou krídiel letúnov. Veľká Británia sa k francúzsko-nemeckému konzorciu Airbus pridala až v roku 1979 vstupom firmy BAC, ktorá sa zlúčila s podnikom Hawker Siddeley. [3]

3.1. Airbus A320 CEO

V roku 1977 vedúci predstavitelia spoločností Aerospatiale, VFW-Fokker a MBB (Messerschmitt, Bolkow a Blom) začali so štúdiom JET (Joint European Transport), ktorá začala s vývojom dizajnového konceptu, založeného na lietadle s kapacitou 130-170 miest. Na parížskom aerosalóne roku 1981 prejavila spoločnosť Air France záujem o kúpu dvadsiatich piatich takýchto letúnov s opciou na ďalších dvadsaťpäť kusov. Začala sa dlhá cesta vývoja lietadla s názvom A320. [3]

Skonstruovaná verzia A320 mala kapacitu 179 pasažierov a ako pohonné jednotky boli zvolené CFM56-5A1. Dizajn krídla bol v typickom štýle Airbusu, navrhnutý a skonštruovaný podnikom BEA vo Veľkej Británii. MBB vyrábalo zadnú časť trupu a vztlakovú mechanizáciu krídla, zatiaľ čo Aerospatiale dodalo prednú časť trupu, centroplán lietadla, motorové pylóny a dvere kabíny. CASA skonštruovala horizontálny stabilizátor a dvere podvozku. Finálna montáž lietadla prebiehala v hlavnom výrobnom závode firmy Airbus v Toulouse vo Francúzsku. [3]

Aby bolo lietadlo relatívne ľahké a technologicky vyspelé, využíva viaceré technológie, ktoré sa bežne vyskytovali vo

vojenských lietadlách. Sú to kompozitné materiály, ale aj systémy riadenia navrhnuté podľa filozofie známej ako "Fly-by-wire". Pilotná kabína bola jednou z najvyspelejších na svete, navrhnutá pre dvoch členov pilotného personálu. Bolo použitých 6 CRT zobrazovacích jednotiek EFIS. Kokpit bol vytvorený na základe filozofie tzv. "Dark Cockpit" a "Color coding". [3] Stav svetiel a informácie poskytované na zobrazovacích jednotkách sú farebne označené, aby indikovali stav systému alebo povahu informácií. To znamená, že ak tlačidlo nesvieti, systém je v prevádzke a netreba mu prihliadať zvláštnu pozornosť. V normálnej prevádzke sa môžu vyskytnúť zelené, modré alebo biele svetlá. Žltá a červená farba sa rozsvieti len v prípade poruchy alebo pri abnormálnom správaní systému, a preto piloti vedia okamžite reagovať na takéto varovanie. [7, 8] V roku 1989 sa na trhu objavil úplne nový typ pohonnej jednotky od konzorcia IAE. Ich motor V2500 dosahoval vyšší výkon, lepšiu spotrebu paliva a zanechával menšiu hlukovú stopu ako CFM56. Od uvedenia nového typu pohonnej jednotky si zákazníci rodiny A320 mohli vybrať či ich lietadlo bude vybavené pohonnými jednotkami CFM56 alebo V2500. [1]



Obrázok 1: Prvé predstavenie úplne nového modelu rodiny Airbus, A320-100 [1]

Dňa 14. februára 1987 prišlo v Toulouse k predstaveniu prvého modelu A320-100. O týždeň neskôr sa uskutočnil aj prvý let. Modely A320 sa začali nasadzovať na prvé komerčné lety od apríla 1988. Z prvých verzií bolo vyrobených len 21 kusov, väčšina lietala pre leteckú spoločnosť Air France alebo British Airways. Od roku 1988 Airbus produkoval už len letúne verzie -200, ktoré sa vyznačovali lepšou výkonnosťou. [1] Celkovo bolo vyrobených 4752 lietadiel A320 generácie CEO. [5]

Po úspechu A320 sa Airbus pustil sa do výroby predĺženej verzie A320 "Stretch", neskôr bol názov zmenený na Airbus A321. Tento model Airbusu sa delil na dva varianty -100 a -200. Hlavnou požiadavkou bolo, aby lietadlá rodiny A320 obsahovali podobné komponenty, čím by sa predišlo vysokým prevádzkovým nákladom a poplatkom za preškolenie personálu údržby i pilotov. Najväčšou zmenou na A321 je predĺžený trup. Ten sa zväčšil o 6,94 metra, čo umožnilo zväčšiť maximálnu kapacitu letúna na 220 pasažierov. [1] Počas výroby prvej generácie CEO sa stihlo vyrobiť 1784 letúnov A321. [5]

Airbus chcel so svojou rodinou A320 konkurovať aj menším lietadlám, a preto bola vyrobená aj kratšia verzia lietadla A320. Vývoj skrátenej verzie začal v roku 1992 a bolo jej pridelené pomenovanie A319. Opäť to bol veľmi podobný letún A320 alebo A321, ale oproti pôvodnej A320 bol kratší o 7 radov sedadiel, teda o 3,77 metra. Krídla a pohonné jednotky boli použité zo základnej verzie A320 a motory mali znížené výkony. Maximálna kapacita pasažierov bola 156. Prvý vyrobený A319

opustil výrobnú linku v Hamburgu 23. marca 1995 a letová skúška sa uskutočnila o 2 dni neskôr. Swissair sa stala prvou leteckou spoločnosťou, ktorá v roku 1996 uviedla tento typ lietadla do prevádzky. [1] Airbus celkovo zostrojil 1484 kusov A319 generácie CEO. [5]

Airbus sa rozhodol so svojou rodinou A320 presadiť aj na trhu menších, regionálnych lietadiel, a preto bol v roku 1999 začatý vývoj najmenšieho člena A318, prezývaného "Baby". [1] A318 bol o ďalších 2,36 metra kratší ako predchádzajúci A319. Na vzdialenosť 3100 námorných míľ dokázal prepraviť maximálne 132 pasažierov. Prototyp A318 prvýkrát vzlietol 15. januára 2002 z letiska Hamburg, kde sa plánovala aj jeho výroba. Prvé uvedenie do prevádzky sa uskutočnilo v roku 2003 americkou leteckou spoločnosťou Frontier Airlines. Aj napriek veľkej snahe sa Airbusu nepodarilo A318 vo väčšej miere presadiť. Keď v roku 2010 Airbus ohlásil začiatok vývoja novej generácie rodiny A320 NEO, s ďalším vývojom A318 sa už nepočítalo. [2] Celkovo bolo vyrobených len 80 kusov. [5]

3.2. Airbus A320 NEO

Po miernych úpravách, ktoré sa v rodine A320 CEO vyskytli, chcel Airbus prísť na trh s novinkou, ktorá by prilákala viac zákazníkov, a tak by získal náskok pred konkurenčnou firmou Boeing. Základnou požiadavkou bola opäť úspora paliva a prevádzkových nákladov, ale aj mnoho spoločných prvkov so stávajúcou rodinou A320 CEO. Prvého decembra 2010 Airbus ohlásil vývoj druhej generácie rodiny A320 s názvom NEO – "New Engine Option". Ako už z názvu vyplýva, najväčšou zmenou na druhej generácii bude použitie nových pohonných jednotiek. V dobe vývoja prichádzali do úvahy dva motory, jeden od spoločnosti CFM a ich nový model LEAP 1A alebo Pratt & Whitney PW1100G. Najväčšou zmenou pohonných jednotiek je ich veľkosť, ako aj použitie väčších, účinnejších lopatiek dúchadla. Krídlo u druhej generácie A320 NEO zostalo nezmenené. Zakončenie typu "Sharklets" sa stalo štandardom pre ich prínosnú úsporu paliva. Menšie zmeny nastali pri úprave aerodynamických krytov medzi krídlom a trupom letúna. Zabezpečila sa tak lepšia aerodynamika, a tým lepšia výkonnosť. Veľkou zmenou prešla aj kabína lietadla, ktorá poskytuje väčšie pohodlie pre pasažierov, menší prienik hluku či vylepšené pretlakovanie letúna. Kokpit lietadla zostal nezmenený, podobný predchádzajúcej generácii. [3]



Obrázok 2: Airbus A320 NEO s pohonnými jednotkami Pratt & Whitney PW1100G [30]

Dňa 1. júla 2014 Airbus prvýkrát predstavil nový letún A320 NEO pred výrobným závozom v meste Toulouse, vo Francúzsku. Prvý let sa uskutočnil 25. septembra 2014 a certifikáciu získalo lietadlo v novembri 2015. Airbus svoje prvé lietadlo novej

generácie doručil nemeckej leteckej spoločnosti Lufthansa, ktorá započala prevádzku letúnov NEO dňa 25. januára 2016 na vnútroštátnej linke z Frankfurtu do Mníchova. [3] Nové pohonné jednotky, aerodynamické vylepšenia a materiály prispeli k zvýšeniu doletu, maximálnej vzletovej hmotnosti, ale aj k navýšenej kapacite pasažierov. Dolet sa zväčšil o 50 námorných míľ, ktorý dosahuje 3500 nm aj pri zmenšenej kapacite palivových nádrží o 470 litrov. Maximálna vzletová hmotnosť dosahuje 79 ton, čo je o 1 tonu viac ako v predchádzajúcej generácii CEO. Maximálna kapacita pasažierov vzrástla na 194 oproti pôvodným 180. Rozmery lietadla ako aj kabíny však zostali nezmenené. [9, 10]

Najdlhšia verzia A321 NEO prvýkrát vzlietla z letiska Hamburg 9. februára 2016, kde prebiehala montáž. Prvý letún bol doručený leteckej spoločnosti Virgin America, ktorá sa neskôr zlúčila so spoločnosťou Alaska Airlines. Vstup do komerčnej prevádzky najdlhšej verzie A321 NEO sa uskutočnil v máji 2017. [11] Oproti pôvodným Airbusom A321 CEO sa udialo len málo zmien, ktoré predstavujú zosilnenie podvozku a krídla, pre väčšie zaťaženie i zvýšenie maximálnej vzletovej hmotnosti letúna. Z dôvodu zvýšenia kapacity pasažierov Airbus musel zväčšiť maximálnu vzletovú hmotnosť lietadla, ktorá dosahuje 93 500 kilogramov. Dolet lietadla pri maximálnom zaťažení a maximálnom množstve paliva zostal nezmenený a pohybuje sa okolo 2650 námorných míľ. [12]

Spoločnosť Airbus chcela z nového lietadla A321 NEO vyťažiť maximum, a preto sa rozhodla pre výrobu verzie s dlhším doletom. Vznikol Airbus A321 NEO LR, ktorý obsahuje tri integrálné palivové nádrže navyše. Tie predlžujú dolet lietadla na 4000 námorných míľ pri kapacite 206 pasažierov. Maximálna vzletová hmotnosť bola navýšená na 97 000 kilogramov a kapacita palivových nádrží zväčšila svoj objem na 32 940 litrov leteckého paliva. Prvý Airbus A321 NEO LR vzlietol 31. januára 2018 z letiska Hamburg a certifikáciu získal 2. októbra 2018 vrátane ETOPS do 180 minút. To Airbusu A321 NEO LR umožnilo prevádzkovať lety napríklad cez Atlantický oceán a ponúknuť tak potencionálnym zákazníkom vyššiu flexibilitu pri plánovaní a zavádzaní nových leteckých spojení. [13, 14]



Obrázok 3: Airbus A321 NEO LR Izraelskej spoločnosti Arkia poháňaný motormi CFM Leap 1A a zakončením krídla typom "Sharklets" [31]

V januári 2018 Airbus uviedol, že zamýšľa opätovné zvýšenie doletu stávajúceho lietadla A321 NEO LR. Letún dostal názov A321 NEO XLR a koncepcia bola prvýkrát predstavená na parížskom aerosalóne 17. júna 2019. [15] Ponúka dolet 4700 námorných míľ pri plnej zásobe paliva alebo 11 hodín letu. Hlavnou zmenou na novom lietadle je kompletne prepracovanie a zväčšenie zadnej centrálnej palivovej nádrže, ktorá je zostrojená z ľahších materiálov a poskytuje celkový objem 12 900 litrov paliva. Ako doplnok sa dá domontovať ďalšia

prídavná palivová nádrž do prednej polovice letúna. Celkovo by sa tak zväčšil objem prepravovaného paliva o 16 000 litrov v porovnaní s A321 NEO LR. [13, 14] Prvý prototyp XLR vybavený pohonnými jednotkami CFM Leap 1A vyšiel z výrobného závodu v Hamburgu v máji 2022 a prvý let sa uskutočnil 15. júna rovnakého roku. [18] Uvedenie do prevádzky sa predpokladalo v roku 2023, no pre problémy s palivovými nádržami, na ktoré upozornili regulačné orgány sa zavedenie posunulo na rok 2024. [19] Od svojho predstavenia v roku 2019 XLR získal viac ako 500 objednávok od viac ako 25 zákazníkov z celého sveta. [20]

Najkratšia verzia A319 NEO uskutočnila svoj prvý let 31. marca 2017. Po úspešnom zvládnutí letových testov v rozmedzí 500 letových hodín získala certifikáciu od regulačných orgánov 21. decembra 2018 a do prevádzky vstúpila v roku 2022 s leteckou spoločnosťou China Southern Airlines. [21, 22] S novo upravenou kabinou dokáže letún prepraviť od 110 do 160 pasažierov. Zaujímavou zmenou je zmenšenie palivovej nádrže, čo negatívne ovplyvnilo dolet, ktorý klesol o 50 nm, teda na celkových 3700 námorných míľ. [23] Maximálna vzletová hmotnosť 75 500 kilogramov zostala nezmenená, ako aj ostatné rozmery či špecifikácie letúna. Od spustenia výroby bolo vyrobených len niekoľko desiatok kusov, nakoľko zákazníci uprednostňujú objednávky väčších lietadiel ako A319. Airbus však zatiaľ zrušenie výroby A319 NEO neplánuje. [21]

4. Všeobecné charakteristiky lietadiel rodiny Boeing 737

Príbeh Boeingu 737 sa začal odohrávať už v roku 1958, kedy firma Boeing začala vykonávať štúdie na nový typ lietadla. Cieľom bolo vytvoriť dvojprúdový letún, ktorý by poskytoval ekonomickú dopravu na krátkych tratiach, do vzdialenosti 100 námorných míľ. Lietadlo muselo byť efektívne v typických cestovných výškach od 20 do 30 tisíc stôp a menšie ako vtedy konštruované lietadlá Boeingu – 707 a 727. [3]

4.1. Boeing 737 Jurassic

Projektom 737 boli poverení dvaja muži Joe Sutter, neskôr preslávený ako "Otec 747" a Jack Steiner, známy ako "jeden z najlepších konštruktérov lietadiel v histórii". Väčšina dvojprúdových lietadiel tej doby sa držala koncepcie umiestnenia motorov v zadnej časti trupu spoločne s umiestnením horizontálneho stabilizátora na smerovej chvostovej ploche v tvare písmena "T" pre lepšie aerodynamické vlastnosti. Boeing však potreboval prísť s niečím lepším a výraznejším, čím by sa odlišil od svojich konkurentov a získal prvenstvo, pretože väčšina konkurentov bola so svojimi lietadlami v prevádzke alebo vo fáze testovacích letov. Vzniklo tak prvé dvojprúdové lietadlo s konvenčným usporiadaním chvostových plôch a motormi umiestnenými pod krídlom. Priaznivé rozloženie ťažiska, lepší prístup pri vykonávaní údržby či zlepšená manipulácia s lietadlom v prevádzke sa v praxi ukázali veľmi výhodné. Táto koncepcia sa neskôr stala štandardom pre veľké dopravné lietadlá dnešnej doby. Nový typ 737 bol revolučný aj tým, že jeho kokpit bol navrhnutý len pre dvoch členov posádky. Stal sa prvým dopravným lietadlom, ktoré neobsahovalo tretieho člena – palubného inžiniera. [3]

Prvý let Boeingu 737-100 sa uskutočnil 9. apríla 1967, dva roky po spustení projektu. Bolo vyrobených len 30 kusov, nakoľko dopyt bol zameraný hlavne na väčšiu verziu -200. Tých sa vyrobilo až 1114 kusov. Tieto vyrobené kusy obsahovali pôvodný

model, ale aj vylepšené verzie ako "Advance", "Combi", "Executive", "Gravel kit" či ďalšie úpravy. S týmito vylepšeniami sa tak Boeing 737-200 stal jedným z najuniverzálnejších letúnov, ktoré vyhovovali požiadavkám množstva leteckých spoločností. Lietadlo bolo možné prevádzkovať kdekoľvek na svete, od rozpálených púští až po polárne oblasti, preto sa stalo veľmi obľúbené. Posledný Boeing 737-200 bol dodaný v roku 1988 spoločnosti Xiamen Airlines. [4]



Obrázok 4: Boeing 737-200 spoločnosti Canadian North vo výbave "Gravel kit" a "Combi" vzlietajúci z nespevnenej vzletovo-prístávacej dráhy [32]

4.2. Boeing 737 Classic

Postupne sa Boeing začal zamýšľať nad nahradením 737-200. Príchodom nových technológií a regulácií sa tento typ stával zastaralým. V roku 1980 Boeing oznámil, náhradu za starší typ. Southwest Airlines a USAir podpísali objednávky na 10 kusov týchto lietadiel, a tak sa v roku 1981 oficiálne spustil výrobný program Boeingu 737-300. Nový 737-300 bol zo 67% rovnaký ako staršie verzie 737. Výkonnejšie motory dovoľovali predĺžiť trup a zvýšiť tak množstvo užitočného nákladu. Kapacita pasažierov sa z pôvodných 122 miest zväčšila na 137. Bol zvýšený aj užitočný dolet lietadla s využitím úspornejších motorov a zväčšenia palivových nádrží. Pilotná kabína lietadla zostala podobná s minimálnymi úpravami a pridaním niektorých systémov. Až neskôršie verzie typu 737 "Classic" obsahovali zmenu pilotnej kabíny nahradením klasických analógových prístrojov elektronickými zobrazovacími jednotkami, ktoré sa postupom času stávali v letectve štandardom. Boeing sa rozhodol predĺžiť pôvodnú verziu, aby sa zväčšila kapacita na viac ako 150 pasažierov. Tento typ sa označoval ako 737-400. Boeing 737-400 mal oproti verzií -300 predĺžený trup o 2,8 metra, čo umožňovalo disponovať sedačkami pre 156 až 170 pasažierov. Niektoré letecké spoločnosti chceli náhradu za staršie typy 737-200 bez väčšej kapacity pasažierov. Požadovali menšie lietadlo ako 737-300, a preto sa Boeing rozhodol skonštruovať verziu -500, ktorá mala menšie rozmery ako pôvodná -300. Oproti miernym zmenám, ktoré sa na verziách -400 a -500 vykonali, boli tieto lietadlá na 95% zhodné s verziou -300. [3] Najvýrúbanejším modelom bol 737-300, po ktorom bol najväčší dopyt, oproti verziám -400 a -500 spolu. Vo verzii -300 bolo vyrobených 1113 kusov, v najväčšej verzii -400 sa vyrobilo 486 a v najmenej -500, 389 kusov. Typy 737 "Classic" tak zaznamenali ešte oveľa väčší úspech ako pôvodné verzie -100 či -200. Výroba "Classic" sa skončila v roku 2000, keď bola nahradená novou, treťou generáciou 737 – "Next Generation". [4]

4.3. Boeing 737 Next Generation

Tretia generácia Boeingu 737 označovaná aj ako "Next Generation", je najrevolučnejšou v celej histórii programu. Oproti starším typom "Classic" či "Jurassic" v nej bolo vykonaných veľa zmien. Zahŕňa lietadlá ako Boeing 737-600, -700, -800, -900 či -900ER. Najpodstatnejšími zmenami prešlo nové krídlo, pohonné jednotky, systémy či nový dizajn pilotnej kabíny. Prvý vyrobený model "Next Generation" bol Boeing 737-700. Veľkosťou bol podobný predošlému 737-300. Kapacita pasažierov bola 149 a v roku 1997 bol prvý 737-700 doručený spoločnosti Southwest Airlines. Následne sa Boeing pustil do výroby väčšieho variantu -800, ktorý pôvodne nadväzoval na 737-400. Kapacita pasažierov vzrástla na 189. Prvý let sa uskutočnil 31. júla 1997 a o rok neskôr bolo prvé lietadlo doručené nemeckej leteckej spoločnosti Hapag-Lloyd. U mnohých leteckých spoločností bola nová verzia -800 obľúbená, nakoľko ju možno považovať za všestranné lietadlo. Niektoré spoločnosti, však chceli prepravovať väčšie množstvo pasažierov, a tak žiadali zvýšiť kapacitu sedadiel. Na ich naliehanie Boeing opäť predĺžil trup a vytvoril novú, zatiaľ najväčšiu verziu 737-900. S celkovou kapacitou 220 pasažierov Boeing vyhovel požiadavkám aj ostatných spoločností. So zvýšením váhy lietadla sa zmenšil dolet, preto Boeing prišiel s ďalšou verziou -900ER s predĺženým doletom. Popri týchto modeloch, však Boeing pracoval aj na najmenšej verzii generácie NG, 737-600. Boeing 737-600 bol veľkostne zhodný so staršími verziami -500 či -200 s kapacitou od 100 do 132 miest. O tento typ však nebol veľký záujem, o čom svedčí len 69 skonštruovaných jednotiek dodaných leteckým spoločnostiam a po 737-100 patrí medzi najhoršie predávaný typ 737. [3] Celkovo sa tretia generácia stala najobľúbenejšou a spoločnosť zaznamenala viac objednávok ako u druhej generácie "Classic". V sumáre sa vyrobilo 6927 lietadiel generácie NG, z toho 69 kusov 737-600, 1164 jednotiek 737-700, 4989 modelov 737-800, 557 letúnov 737-900 či 900ER a 148 lietadiel verzie "BBJ", ktorá je určená pre VIP prepravu. Posledný Boeing 737 tretej generácie bol dodaný spoločnosti KLM v roku 2019 a jednalo sa o verziu 737-800. [4]



Obrázok 5: Uvádzací ceremoniál prvého vyrobeného kusu 737-800 NG [33]

4.4. Boeing 737 MAX

V roku 2010 európska firma Airbus ohlásila začiatok prác na úprave ich stávajúceho typu A320. Nové pohonné jednotky, winglety a aerodynamické úpravy mali Airbusu priniesť 15% úsporu paliva. Boeing bol nútený podniknúť určité opatrenia, aby aj naďalej dokázal s firmou Airbus súperiť. Tak vznikol

Boeing 737 MAX. Svoje meno MAX dostal podľa toho, čo môžu budúci zákazníci od lietadla očakávať - maximálnu spoľahlivosť, efektívnosť, konkurencieschopnosť a mnoho maximálne ďalšieho. Meno muselo byť krátke, ľahko zapamätateľné a výstižné. Preto Boeing zvolil meno MAX. Štvrtá generácia prináša niekoľko podstatných zmien. Hlavnou zmenou je nový druh pohonných jednotiek od firmy CFM Leap 1B. Tieto pohonné jednotky sú nástupcami predchádzajúcich generácií CFM56-3 či CFM56-7, ktoré boli použité na starších modeloch 737. Prvotnou zmenou je ich veľkosť. Priemer motora sa zväčšil z pôvodných 155 cm na 176 cm. Obtokový pomer sa zmenil z 5,5:1 na 9:1. Ďalšou vizuálnou zmenou sú väčšie lopatky dúchadla a zredukovaný počet z pôvodných 24 na 18 kusov. Poslednou veľkou vonkajšou zmenou je použitie technológie "Chevrons" v zadnej časti krytu motora. S väčšími a ťažšími pohonnými jednotkami umiestnenými viac v prednej časti sa zmenilo ťažisko lietadla a aj jeho aerodynamické i letové vlastnosti. To spôsobovalo nepriaznivé klopenie lietadla smerom nahor pri vysokých uhloch nábehu. Na prekonanie tohto nepriaznivého klopivého momentu bol do nových Boeingov 737 MAX zavedený systém "MCAS", ktorý získava údaje zo snímača uhla nábehu a kontroluje horizontálny stabilizátor letúna. [3] Ak snímač uhla nábehu zaznamená zvýšený uhol, automaticky sa horizontálny stabilizátor nakloní smerom nahor, čím núti nos lietadla klesať, a preto bol považovaný za efektívne riešenie. Takto upravené MAX-y mali mať podobné letové vlastnosti ako staršia generácia, 737 NG. Systém "MCAS" mal aj určité technické nedostatky, ktoré spôsobili 2 smrteľné havárie týchto letúnov krátko po štarte, po ktorých bol MAX na 20 mesiacov uzemnený. Neskôr bol systém vylepšený a lietadlá 737 MAX boli znovu uvoľnené do prevádzky. [4] Krídla lietadla zostali nezmenené, na 737 NG boli dotiahnuté k dokonalosti, a tak sa na MAX-e nemuselo nič prerábať. Zmenou prešiel len pylón pre uchytenie nových pohonných jednotiek a winglety. 737 MAX prišiel s úplne novou technológiou wingletov, s názvom "Advanced Technology Winglet". Toto zakončenie krídiel bolo navrhnuté inžiniermi z Boeingu tak, aby na sebe zanechávalo laminárne prúdenie vzduchu, a tým nespôsobovalo vírivé prúdenie. Takto zakončené krídlo dokáže ušetriť palivo o 1,8 – 2% oproti starším typom wingletov. Ďalšou zmenou bolo prepracovanie chvostovej časti letúna, ktorá sa predĺžila o 110 cm a bola prepracovaná do aerodynamickejšieho tvaru, čím bolo vyriešené chvenie zadnej časti lietadla, s ktorým mali problémy staršie generácie Boeingov. Technickým zmenám bol podrobený aj kokpit lietadla. Šesť menších LCD zobrazovacích jednotiek bolo nahradených štyrmi s väčšími uhlopriečkami. Boeing chcel dosiahnuť identický vzhľad pilotnej kabíny s predchádzajúcimi generáciami, z dôvodu nižších nákladov na preškolenie posádok. To sa Boeingu aj po celú dobu vývoja darilo, nakoľko horný ovládací panel od prvej generácie 737-100 či -200 zostal takmer nezmenený. [3]

Štvrtá generácia rodiny 737 pozostáva z piatich modelov. Konkrétne sú to 737 MAX 7, MAX 8, MAX 200, MAX 9 a MAX 10. [4] Prvý vyrobený Boeing tejto generácie bol 737 MAX 8. Veľkosťne je tento model ekvivalentný modelu zo staršej generácie 737-800 NG. Dokáže prepraviť 189 pasažierov, maximálna vzletová hmotnosť presahuje 82 ton a maximálny dolet je 3515 námorných míľ. Po vyrobení prvého prototypu MAX 8 nasledovala výroba dlhšej verzie – MAX 9. Veľkosťne je tento letún porovnateľný so 737-900ER. Maximálna kapacita tohto lietadla je 220 pasažierov a MTOW viac ako 88 ton. Dolet

lietadla je rovnaký ako u menšieho 737 MAX 8. Prvý let najmenšieho variantu 737 MAX 7 sa uskutočnil 16. marca 2018. Oproti pôvodnému 737-700 NG bolo nutné zväčšiť dĺžku lietadla a boli pridané ďalšie dva rady sedadiel. Tento krok sa Boeing rozhodol urobiť z dôvodu zmenšeného záujmu o tento typ. Kapacita na sedenie vzrástla na 172 pasažierov, maximálna vzletová hmotnosť sa zväčšila z pôvodných 70,3 tony na viac ako 80 ton. Maximálny dolet 3825 námorných míľ tak robí z MAX 7 typ s najdlhším doletom z celej štvrtej generácie 737. Prvý let typu 737 MAX 200 sa uskutočnil 13. januára 2019. Svojou veľkosťou zodpovedá modelu 737 MAX 8, no dokáže prepraviť až 200 pasažierov, namiesto pôvodných 189. Tento typ bol vytvorený na naliehanie írsky leteckej spoločnosti Ryanair, ktorá sa stala prvým zákazníkom tohto typu lietadla. Neskôr sa názov MAX 200 zmenil na MAX 8200. Toto pomenovanie značí typ lietadla MAX 8 s kapacitou pre 200 pasažierov. Popri úspešnom zavádzaní MAX-ov do prevádzky sa Boeing rozhodol uskutočniť štúdiu na ďalšie predĺženie trupu 737. Vznikol tak najväčší variant z celej histórie Boeingov 737 – MAX 10. Trup sa oproti 737 MAX 9 predĺžil o 1,68 metra, čo umožnilo pridať dva rady sedačiek navyše. Celková kapacita pasažierov, tak vzrástla na 230. Maximálna vzletová hmotnosť dosahuje úctyhodných 92 ton. Kvôli zväčšenej dĺžke, však mierne klesol dolet na 3215 námorných míľ, ktorý je stále o 265 námorných míľ väčší ako u predchádzajúcej generácie -900ER. Na konci roka 2023 sa začala certifikácia posledných dvoch typov štvrtej generácie 737 - MAX 7 a MAX 10. Ich zavedenie do prevádzky sa očakáva v roku 2024. [4]



Obrázok 6: Boeing 737 MAX 8200 leteckej spoločnosti Ryanair s pohonnými jednotkami CFM Leap 1B a zakončením krídla typom "Advanced Technology Winglet" [34]

5. Porovnanie lietadiel rodiny A320 NEO a 737 MAX

Obidva druhy lietadiel patria medzi najvyššie generácie svojich rodín, sú zaradené do rovnakých kategórií, a preto majú veľa spoločných znakov. Zároveň v konkurenčnom súperení sa jednotliví výrobcovia snažia vo svojich letúnoch uplatniť technológie typické len pre svoju rodinu lietadiel, a tak sa v niektorých použitých prvkoch vzájomne odlišujú, čím sa stávajú zaujímavejšími aj na trhu uplatnenia u samotných leteckých spoločností.

5.1. Spoločné znaky

Najpodstatnejším spoločným znakom týchto lietadiel je, že patria do rovnakej kategórie, teda letúne s úzkym trupom určené na krátke a stredné trasy. Majú podobné vonkajšie rozmery, ako aj kapacitu pasažierov, ktorá sa pohybuje od 160 pri menších variantoch až po 244 u väčších verzií letúnov. Maximálna vzletová hmotnosť sa pohybuje od 75,5 až po 101 ton a dolet od 3215 až po 4000 námorných míľ. Výnimku tvorí

len Airbus A321 NEO XLR, ktorého dolet predstavuje až 4700 nm. Niektoré varianty od oboch výrobcov sú vo vývojovej etape a čakajú na certifikáciu od príslušných orgánov ako FAA alebo EASA. Oba výrobcovia sa snažia poskytnúť lietadlá čo najširšiemu spektru potencionálnych zákazníkov. Špeciálne upravené lietadlá pre prepravu VIP pasažierov sú už u nových generácií štandardom. Predchádzajúce generácie sa zameriavajú aj na prepravu tovaru. Boeing dal takýmto letúnom názov "BCF" – Boeing Converted Freighter, spoločnosť Airbus svoje lietadlá na prepravu tovaru nazýva "P2F" – Passenger to Freighter. Princíp oboch výrobcov spočíva v tom, že staršie lietadlá určené na prepravu pasažierov prejdú úpravou na prepravu nákladu. Možno predpokladať, že aj generácie NEO alebo MAX budú časom disponovať takýmito úpravami a budú slúžiť na prepravu tovaru. [3, 4, 24, 25] Obidve lietadlá sa stali priekopníkmi v leteckej doprave. Boeing 737 sa stal prvým dvojmotorovým letúnom s klasickým usporiadaným chvostových plôch a pohonnými jednotkami umiestnenými pod krídlom, tak ako väčšina lietadiel dnešnej doby. Dokonca sa stal prvým komerčným lietadlom s dvojpilotnou posádkou. Airbus A320 sa stal revolučným z dôvodu použitia moderných, vyspelých technológií – počítačov alebo systému autopilota. Systém riadenia "Fly-by-wire" alebo technológia kokpitu založená na koncepcii "Dark Cockpit" či "Color coding" robili z lietadla A320 unikát. Dnes sa tieto technológie používajú u väčšiny moderných lietadiel. [3, 7, 8]

5.2. Odlišné znaky

Na lietadlách rodiny A320 alebo B737 sa nachádza aj veľa odlišností. Rodina letúnov B737 je oveľa staršia a počas jej výroby sa stihla vyvinúť do štyroch generácií. Počiatkový koncept lietadla bol úplne iný. Letún 737 bol navrhnutý pre regionálne lietanie na krátke vzdialenosti, no neustálym vývojom dosiahol využitie, aké poznáme dnes. V 60-tych rokoch, kedy bol model 737 konštruovaný, neexistovali žiadne výtobytky modernej techniky ako počítače či rôzne programy. Celá konštrukcia bola nakreslená a navrhnutá ručne na technických výkresoch. V relatívne "mladej" dobe letectva neexistovali rozsiahle poznatky z aerodynamiky, na stavbu letúnov sa nepoužívali materiály, ktoré letectvo využíva v dnešnej dobe. Z tohto dôvodu sa lietadlám rodiny 737 prezýva aj "Workhorse" letectva. O 20 rokov neskôr, od prvého vyrobeného modelu 737, výrobca Airbus skonštruoval prvé lietadlo rodiny A320. Letún bol navrhnutý a skonštruovaný pomocou počítačov, ktoré zlepšili aerodynamiku alebo letové vlastnosti, zároveň rodina A320 vylepšila technické nedostatky, ktoré mal B737 – menšia šírka trupu, výška lietadla alebo aerodynamika prednej časti letúna. Lietadlá typu A320 boli od začiatku konštruované na krátke a stredne dlhé trate, prvý model A320 bol väčší ako prvý model Boeingu 737-100, a tak výrobcovi Airbus nerobilo veľký problém predĺženie trupu na model A321. Nové technológie, počítače alebo navigačné systémy boli od začiatku na modeli A320 štandardom. Na rozdiel od A320, lietadlá firmy Boeing boli priekopníkmi v používaní rôzneho vybavenia, a tak tieto lietadlá možno považovať za veľmi všestranné, nakoľko sa využívajú ako platformy na testovanie rôznych radarových systémov alebo ako letecké laboratória pre výskum NASA. Letúne 737 sú využívané aj na vojenské účely, napríklad lietadlo P-8 Poseidon, zamerané na námorné hľadkovanie a prieskum, ktoré je postavené na modeli Boeing 737-800 NG. Letún E-7 Wedgetail je postavený na platforme B737-700 NG a slúži na včasné varovanie a kontrolu

vzdušného priestoru. Možno predpokladať, že po osvedčení štvrtej generácie letúnov 737 MAX, budú testovacie alebo vojenské lietadlá postavené aj na najnovšej platforme rodiny B737. Na rozdiel od výrobcu Boeing, Airbus neponúka veľké množstvo modifikácií alebo výbav pre rodinu lietadiel A320. Airbus tiež poskytuje rodinu lietadiel A320 pre armádne využitie, no ich letúne obsahujú hlavne zmeny v interiéri letúna, ale väčšie vonkajšie úpravy sa na lietadle nenachádzajú. Tieto letúne sú postavené na najnovšej generácii rodiny NEO. Nemecké vojenské letectvo Luftwaffe disponuje letúnm A321 NEO LR, ktoré slúžia na prepravu vojakov alebo môžu byť prevádzkované ako letecká nemocnica. Možno však konštatovať, že obidva typy letúnov sú veľmi kvalitné a určujú trend, ktorým sa bude letectvo najbližšie roky vývoja uberať. [1, 3, 4, 26]



Obrázok 7: Lietadlá rodiny B737 upravené pre armádne využitie: P-8 Poseidon a E-7 Wedgetail [35, 36]

6. Metodika a metodológia práce

Téma odborného článku bola zvolená z dôvodu rozšírenia teoretických poznatkov a vedomostí o najrozšírenejších typoch lietadiel v letectve, s ktorými sa môže bežne stretnúť každý človek pri ceste na dovolenku alebo za prácou. Počas písania článku boli využívané rôzne metódy skúmania – literárna rešerš, metóda analýzy, komparácie alebo induktívna metóda.

7. Uplatnenie lietadiel rodiny A320 NEO a 737 MAX počas obdobia Covid-19

Od roku 2019, po dobu dvoch nasledujúcich rokov, zažilo letectvo jedno z najťažších období od svojho vzniku. Predchádzali tomu dve havárie so smrteľnými následkami a následné uzemnenie lietadiel Boeing 737 MAX a celosvetová pandémia Covid-19, počas ktorej boli zavedené striktné opatrenia – uzatvorenie hraníc jednotlivých štátov a zákaz cestovania, čo vo veľkej miere ovplyvnilo najmä leteckú dopravu.

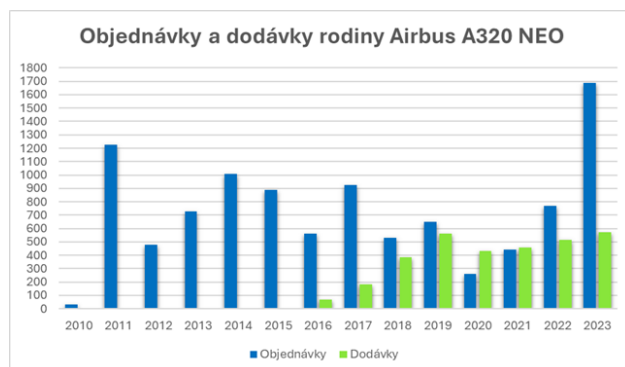
7.1. Nehody Boeingov 737 MAX

Rýchle uvedenie Boeingu 737 MAX do prevádzky spôsobilo spoločnosti veľké problémy, príčinou ktorých boli havárie týchto letúnov a ich následné uzemnenie. Dňa 29. októbra 2018 sa Boeing 737 MAX 8 spoločnosti Lion Air zrútil krátko po štarte do Jávskeho mora. Počas letu boli zaznamenané vážne problémy s riadením letu a neprimeranou aktiváciou systému "MCAS". [27] Boeing sa spolu s vyšetrovateľmi domnieval, že havária by mohla byť spôsobená nesprávnou aktiváciou systému "MCAS". Než sa však stihli urobiť potrebné testy a zapracovanie postupov tohto systému do príručiek, prišlo k ďalšej havárii. Tentokrát to bol let 302 spoločnosti Ethiopian Airlines na linke z hlavného mesta Etiópie, Addis Abeba do mesta Nairobi, v štáte Keňa. Lietadlo sa zrútilo 6 minút po štarte. Zahynulo všetkých 157 osôb na palube vrátane posádky. Opäť prišlo k nesprávnej identifikácii uhla

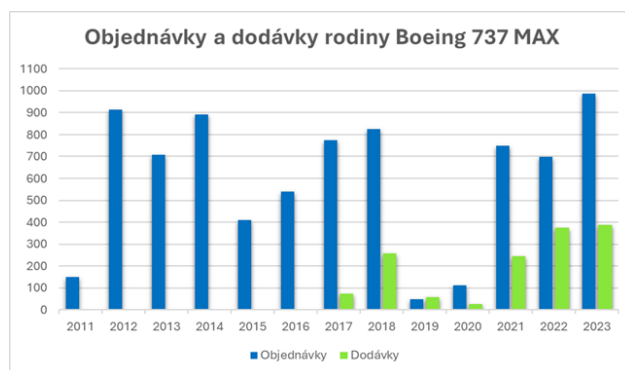
nábehu lietadla zo senzora AOA, a ten aktivoval systém "MCAS", ktorý naklonil nos lietadla k zemi. Havarované lietadlo bolo opäť MAX 8 a incident sa stal 10. marca 2019. [28]

Po týchto dvoch závažných haváriách boli lietadlá 737 MAX uzemnené vo viacerých štátoch sveta. V USA boli uzemnené po dobu dvadsiatich mesiacov a v mnohých ďalších krajinách aj oveľa dlhšie, dokonca v Číne boli všetky lietadlá uvedené do prevádzky až na konci roka 2023. Pre uzemnenie všetkých lietadiel prišla spoločnosť Boeing a s ňou aj letecké spoločnosti o veľké zisky. Mnohé letecké spoločnosti sa rozhodli zrušiť objednávky na tieto typy lietadiel. [4]

Koncom roka 2019 sa vo svete rozšírila pandémia Covid-19 a jednotlivé štáty po celom svete začali zavádzať prísne protipandemické opatrenia, ku ktorým patrilo aj zatvorenie hraníc alebo zákaz cestovania, čo vo veľkej miere ovplyvnilo najmä leteckú dopravu v celosvetovom meradle a prinútilo letecké spoločnosti uzemniť ich lietadlá. V polovici apríla roku 2020 bolo v 39 krajinách EUROCONTROL-u uzemnených takmer 5000 lietadiel určených na osobnú prepravu. Mnoho leteckých spoločností sa rozhodlo vyradiť staršie letúne z prevádzky a zrušiť objednávky na nové lietadlá. [29] Od roku 2019 až do roku 2021 spoločnosť Airbus zaznamenala zrušenie objednávok na 702 lietadiel rodiny A320 NEO. Výrobca Boeing za rovnaké obdobie zaznamenal až 1198 zrušených objednávok pre rodinu 737 MAX. Rušenie objednávok bolo vo veľkej miere ovplyvnené aj uzemnením týchto typov lietadiel po dvoch veľkých haváriách so smrteľnými následkami a neistotou vrátenia týchto letúnov do prevádzky v dlhodobom horizonte. [5, 6]



Obrázok 8: Graf objednávok a dodávok lietadiel rodiny Airbus A320 NEO [zdroj: Autor, 5]



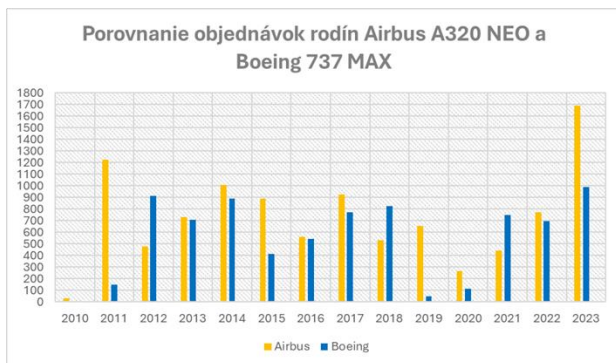
Obrázok 9: Graf objednávok a dodávok lietadiel rodiny Boeing 737 MAX [zdroj: Autor, 6]

Podľa grafov uvedených na obrázkoch 8 a 9, prvé objednávky lietadiel rodiny A320 NEO začali v roku 2010 a o rok neskôr aj spoločnosť Boeing získava prvé objednávky na lietadlá 737 MAX. Podľa grafického zobrazenia možno konštatovať, že v nasledujúcich rokoch po spustení výroby prichádza k vzostupu objednávok na letúne A320 NEO a 737 MAX, no počas rokov 2019 – 2021 prichádza k prepadu, čo bolo ovplyvnené pandémiou Covid-19 a u Boeingu 737 MAX aj uzemnením, ktoré zapríčinili dve havárie. Objednávky aj dodávky prudko klesli a u výrobcu Boeing sa ocitli na najmenších číslach, rádovo len v desiatkach kusov od uvedenia tohto typu na trh. Po ukončení protipandemických opatrení bola osobná letecká doprava otvorená a spoločnosti Airbus a Boeing znova začali s výrobou. Zaujímavosťou je, že objednávky na rodinu lietadiel 737 MAX v roku 2021 opäť prudko stúpili, zatiaľ čo u výrobcu Airbus vzrástli len pozvoľne. Prispel k tomu aj fakt, že letúne 737 MAX boli opäť uvoľnené do prevádzky. [5, 6]

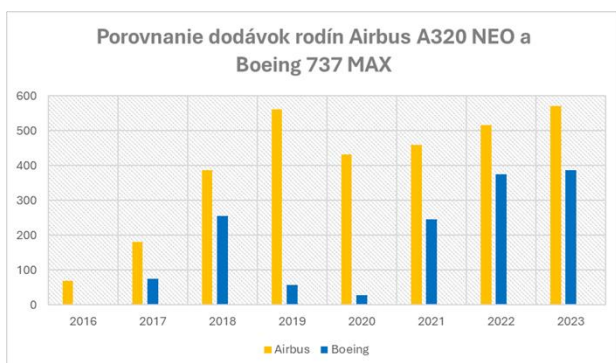
8. Uplatnenie lietadiel rodiny A320 NEO a 737 MAX v postcovidovom období

Po zmenách, ktoré Boeing na ich lietadlách 737 MAX vykonal, sa letúne mohli opäť vrátiť do prevádzky. Prispelo k tomu aj prekonanie pandémie Covid-19 a postupné uvoľňovanie prísnych opatrení či zákazov. Letectvo sa tak pomaly začalo vraciat do normálu a ľudia začali viac cestovať.

Na obrázkoch 10 a 11, ktoré v grafovom spracovaní porovnávajú jednotlivé objednávky a dodávky leteckých výrobcov vyplýva, že roky 2022 a 2023 boli oveľa úspešnejšie, čo sa týka získaných objednávok ako aj dodávok lietadiel ako predchádzajúce roky počas pandémie Covid-19. V roku 2022 sú obe spoločnosti zhruba na rovnakej úrovni a v roku 2023 získava väčší počet objednávok spoločnosť Airbus. Rok 2023 bol najúspešnejším pre výrobcu Airbus z pohľadu objednávok či dodávok lietadiel od uvedenia rodiny A320 NEO na trh. Celkovo Airbus získal 1689 objednávok a doručil 571 kusov letúnov. Rok 2023 patril medzi najproduktívnejšie aj pre amerického výrobcu Boeing, ktorý získal 987 objednávok pre ich rodinu 737 MAX a doručil 387 lietadiel. Celkovo však Airbus získal viac objednávok a doručil aj viac lietadiel od uvedenia týchto rodín letúnov na trh. Tento fakt je ovplyvnený tým, že rodina A320 NEO bola na trh uvedená o rok skôr ako B737 MAX, ale aj dvomi smrteľnými haváriami, ktorých boli lietadlá 737 MAX súčasťou. Najväčšiu úlohu však v podobe objednávok zohráva fakt, že európske letecké spoločnosti podporujú domácu ekonomiku, a tak dávajú prednosť objednávkam letúnov od spoločnosti Airbus, aj keď ich flotila lietadiel bola tvorená výlučne z letúnov od amerického konkurenta Boeing. [5, 6]



Obrázok 10: Graf porovnania objednávok rodín Airbus A320 NEO a Boeing 737 MAX [zdroj: Autor, 5, 6]

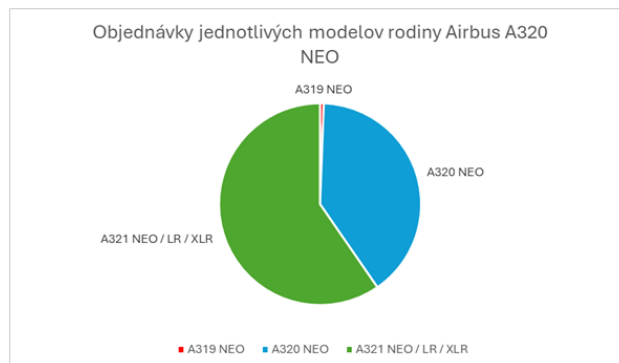


Obrázok 11: Graf porovnania dodávok rodín Airbus A320 NEO a Boeing 737 MAX [zdroj: Autor, 5, 6]

9. Analýza súčasného stavu

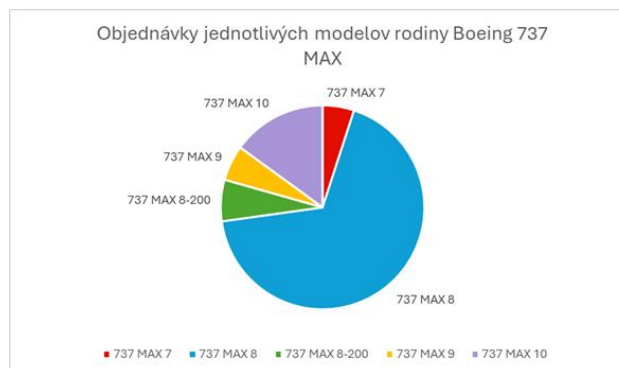
V súčasnej dobe prichádza k nárastu osobnej leteckej dopravy z dôvodu opätovného otvorenia hraníc pre jednotlivé štáty, cestovania za prácou, dostupnosti zaujímavých turistických aj dovolenkových destinácií, a najmä z dôvodu rýchlych a ekonomicky výhodnejších presunov medzi štátmi a kontinentami, čo možno pokladať za ekonomicky priaznivú situáciu pre výrobcov lietadiel, aj pre letecké spoločnosti a letiská.

Od predstavenia rodiny A320 NEO v roku 2010 Airbus do konca januára 2024 získal celkom 10 354 objednávok na tieto letúne. Na základe počtu objednávok medzi najpopulárnejšie lietadlá patria väčšie letúne A321, u ktorých spoločnosť dosiahla 6171 objednávok, na menšie lietadlá A320 bolo zadaných 4122 objednávok a najslabší záujem je o najmenšie lietadlá A319, ktoré celkovo získali len 61 objednávok. Tento stav zobrazuje diagram obrázku číslo 12. Celkovo bolo z rodiny lietadiel A320 NEO dodaných 3189 letúnov, z toho 1911 lietadiel A320, 1261 kusov väčších letúnov A321 a len 17 kusov najmenších lietadiel A319. Tieto údaje sa vzťahujú na koniec mesiaca január 2024. [5]



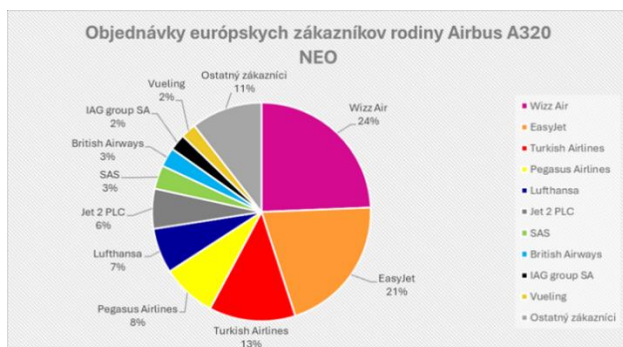
Obrázok 12: Graf objednávok jednotlivých modelov rodiny A320 NEO [zdroj: Autor, 5]

Konkurenčný výrobca Boeing od predstavenia rodiny 737 MAX do konca rovnakého obdobia získal 7806 objednávok. Najvyšší počet objednávok, 5292 ks, získal 737 MAX 8 a naďalej ostáva najpopulárnejším lietadlom spomedzi objednávok Boeingu. Po ňom nasleduje najväčší derivát rodiny 737 MAX 10 s celkovým počtom objednávok 1171 kusov. Na letún 737 MAX 8-200 bolo zadaných 513 objednávok a 439 objednávok na väčší model MAX 9. Najmenší model MAX 7 s celkovým počtom objednávok 391 kusov patrí medzi najmenej preferované modely. Z grafu na obrázku 13 vyplýva, že u rodiny 737 MAX sú objednávky na jednotlivé modely viac rozložené. Do januára 2024 bolo dodaných 1445 letúnov 737 MAX, z toho 1085 letúnov 737 MAX 8, postupne 217 letúnov väčšieho variantu MAX 9 a 143 lietadiel verzie 737 MAX 8-200. Modely MAX 7 a MAX 10 sú zatiaľ v certifikačnom procese, preto tieto verzie nemohli byť doručené zákazníkom. [6]



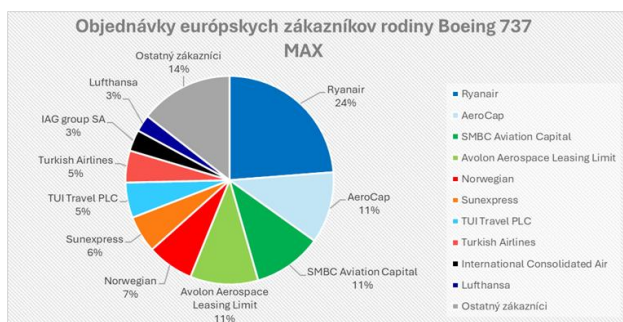
Obrázok 13: Graf objednávok jednotlivých modelov rodiny 737 MAX [zdroj: Autor, 6]

Do dňa 31.1. 2024 bolo európskymi leteckými spoločnosťami objednaných 1860 kusov lietadiel rodiny A320 NEO. Medzi najväčšieho európskeho zákazníka tejto rodiny patrí nízko-nákladová letecká spoločnosť Wizz Air s objednávkou na 453 kusov lietadiel. Potom nasledujú spoločnosti ako EasyJet, Turkish Airlines, Pegasus Airlines či Lufthansa. Na obrázku 14 s grafom objednávok európskych zákazníkov rodiny Airbus A320 NEO sú zahrnuté všetky európske spoločnosti, ktoré majú objednaných viac ako 40 kusov lietadiel rodiny A320 NEO. Do konca rovnakého obdobia Airbus dodal na európsky letecký trh 573 kusov lietadiel rodiny NEO, z toho 118 pre leteckú spoločnosť Wizz Air, 82 pre Pegasus Airlines a 72 pre anglickú nízko-nákladovú leteckú spoločnosť EasyJet. [5]



Obrázok 14: Graf objednávok európskych zákazníkov rodiny Airbus A320 NEO [zdroj: Autor, 5]

U amerického výrobcu Boeing bolo európskymi zákazníkmi objednaných 1514 letúnov rodiny 737 MAX. Túto rodinu preferujú najmä európske leasingové spoločnosti ako Avolon Aerospace Leasing Limit, Aerocap alebo SMBC Aviation Capital, ale najväčším európskym zákazníkom pre letúne 737 MAX je nízko-nákladová letecká spoločnosť Ryanair, ktorá má celkovo objednaných 360 kusov letúnov 737 MAX 8-200 a MAX 10. K ďalším zákazníkom, ktorí majú tieto typy letúnov objednané, patria spoločnosti Norwegian, Sunexpress alebo TUI Travel PLC. Tieto údaje, ktoré vyplývajú z grafu na obrázku 15 sa vzťahujú na koniec januára 2024 a zahŕňajú všetky európske spoločnosti, ktoré majú objednaných 40 a viac kusov lietadiel 737 MAX. Do konca uvádzaného obdobia bolo spoločnosťou Boeing týmto zákazníkom dodaných 310 letúnov, z toho necelá polovica lieta vo farbách leteckej spoločnosti Ryanair. [6]



Obrázok 15: Graf objednávok európskych zákazníkov rodiny Boeing 737 MAX [zdroj: Autor, 6]

S rastúcim trendom leteckej dopravy možno predpokladať ďalšie objednávky od európskych leteckých spoločností, ktoré sú veľmi významnými odberateľmi letúnov oboch výrobcov, a preto sa dané spoločnosti budú v rámci konkurencie snažiť prilákať viac potencionálnych zákazníkov. V rámci európskeho trhu a leteckých spoločností v Európe možno predpokladať, že výrobca Airbus získa vyšší počet objednávok ako jeho americký konkurent Boeing. Toto konštatovanie vyplýva zo skutočnosti, že európske letecké spoločnosti budú aj naďalej vyzývané k nákupu európskych letúnov Airbus, teda k podpore domáceho, európskeho trhu.

Záver

Témou odborného článku bolo vytvorenie analýzy uplatnenia lietadiel rodiny Airbus A320 NEO a Boeing 737 MAX na európskom trhu. Tieto dve rodiny lietadiel patria medzi najrozšírenejšie nielen v Európe, ale aj v celosvetovom meradle. Obidve rodiny disponujú rôznymi typmi modelov, aby dokázali upokojiť požiadavky a potreby rôzneho spektra zákazníkov, a preto výber vhodných letúnov podľa požadovaných kritérií závisí od jednotlivých leteckých spoločností a ich potrieb budúceho rozvoja.

Článok bol rozdelený do ôsmich kapitol, ktorých cieľom bolo oboznámenie s výrobnou činnosťou obidvoch výrobných spoločností, rôznymi typmi a generáciami lietadiel, s ich technickými parametrami, dizajnovými úpravami, konštrukčnými a softvérovými zmenami a vzájomným porovnaním nielen po technickej, ale aj po ekonomickej stránke, teda z hľadiska objednávok a dodávok leteckým spoločnostiam.

Jednotlivé kapitoly boli doplnené o obrazový materiál letúnov a ich technických či exteriérových súčastí. V posledných troch kapitolách boli doložené prevažne stĺpcové grafy so sumárom objednávok a dodávok pre porovnanie oboch rodín a ich postavenia na trhu. Pri písaní článku boli využité knižné a internetové zdroje uvedené v referenciách.

Referencie

- [1] (2011). Encyklopedie Moderných letadel. Praha: NAŠE VOJSKO. ISBN 987-80-206- 1208-3.
- [2] MUSIL, Lukáš. (2021). Encyklopedie dopravných letadel. Druhé vydání. Praha: Regia. ISBN 978-80-87866-55-9
- [3] DORNSEIF, Dan. (2017). Boeing 737 The World's Jetliner. Atglen: Schiffer Publishing. ISBN 978-0-7643-5325-3
- [4] BRADY, Chris. (2023). The Boeing 737 Technical Guide. Kingsley: Tech Pilot Services.
- [5] Airbus (2024). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/productsservices/commercial-aircraft/market/orders-and-deliveries> [cit. 16.03.2024]
- [6] Boeing (2024). boeing. Online. Dostupné na: <https://www.boeing.com/commercial#orders-deliveries> [cit. 18.03.2024]
- [7] AviationHunt (2024). aviationhunt. Online. Dostupné na: <https://www.aviationhunt.com/airbus-a320-cockpit> [cit. 16.03.2024]
- [8] Airbus (2017). icao. Online. Dostupné na: https://www.icao.int/ESAF/Documents/meetings/2017/AFI%20FOSAS%202017/DAY%201%20Docs/Day_1_2_Airbuspihlo.pdf [cit. 16.03.2024]
- [9] Airbus (2024). aircraft.airbus. Online. Dostupné na: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the-most-successful-aircraft-familyever/a320neo> [cit. 17.03.2024]
- [10] Airbus (2024). aircraft.airbus. Online. Dostupné na: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/a320-the-most-successful-aircraft-familyever/a320ceo> [cit. 17.03.2024]

- [11] Airbus (2017). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2017-04-airbus-delivers-first-ever-a321neo-to-virgin-america> [cit. 17.03.2024]
- [12] Epsilonaviation (2019). epsilonaviation. Online. Dostupné na: <https://epsilonaviation.wordpress.com/2019/06/29/what-can-and-cant-the-a321xlrdo/> [cit. 17.03.2024]
- [13] Airbus (2018). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2018-10-easa-and-faa-certify-long-range-capability-for-a321neo> [cit. 17.03.2024]
- [14] Airbus (2018). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2018-01-first-a321lr-takes-to-the-skies-for-its- maiden-flight> [cit. 17.03.2024]
- [15] HAYWARD, Justin (2019). simpleflying. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/airbus-a321xlr-2019-gamechanger/> [cit. 17.03.2024]
- [16] Airbus (2023). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2023-09-airbus-a321xlr-the-network-opener-that-puts-distant-cities-within-reach> [cit. 17.03.2024]
- [17] Airbus (2022). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2022-09-the-only-way-is-up-flight-testing-the-a321xlr-gathers-pace> [cit. 17.03.2024]
- [18] Airbus (2022). airbus. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2022-06-airbus-a321xlr-takes-off-for-the-first-time> [cit. 17.03.2024]
- [19] POWEL, Lucy (2024). laranews. Online. Dostupné na: <https://www.laranews.net/a321xlr-entry-into-service-delayed-until-q3-2024/> [cit. 17.03.2024]
- [20] TAYLOR, Rains (2024). businessinsider. Online. Dostupné na: <https://www.businessinsider.com/airbus-a321xlr-will-be-a-game-changer-2023-7> [cit. 17.03.2024]
- [21] Aerocorner (bez data). aerocorner. Online. Dostupné na: <https://aerocorner.com/aircraft/airbus-a319neo/> [cit. 17.03.2024]
- [22] HARDIMAN, Jake (2022). simpleflying. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/airbus-1st-rare-a319-neo-china-southern/> [cit. 17.03.2024]
- [23] CASINADER, Trevin (bez data). aviatorinsider. Online. Dostupné na: <https://aviatorinsider.com/airplane-brands/airbus-a319/> [cit. 17.03.2024]
- [24] Boeing (2016). boeing. Online. Dostupné na: https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeing-dotcom/commercial/services/assets/brochure/737_80_OBCF.pdf [cit. 17.03.2024]
- [25] Airbus (2024). aircraft.airbus. Online. Dostupné na: <https://aircraft.airbus.com/en/aircraft/freighters/a320-freighter-family> [cit. 17.03.2024]
- [26] KUNZLER, Joe (2022). simpleflying. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/german-air-force-second-airbus-a321lr/> [cit. 18.03.2024]
- [27] PETCHENIK, Ian (2022). flightradar24. Online. Dostupné na: <https://www.flightradar24.com/blog/indonesian-investigators-release-final-lion-air610-crash-report/> [cit. 22.03.2024]
- [28] PETCHENIK, Ian (2023). flightradar24. Online. Dostupné na: <https://www.flightradar24.com/blog/ethiopian-302-final-report/> [cit. 22.03.2024]
- [29] ADRIENNE, Nena; BUDD, Lucy a ISON, Stephen (2020). ncbi.nlm.nih.gov. Online. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7470860/> [cit. 22.03.2024]
- [30] JK Photography (2021). jetphotos. Online. Dostupné na: <https://www.jetphotos.com/photo/10091921> [cit. 18.03.2024]
- [31] GROTHE, Dirk (2018). planespotters. Online. Dostupné na: <https://www.planespotters.net/photo/896815/4x-agh-arkia-israeli-airlines-airbus-a321-251nx> [cit. 18.03.2024]
- [32] PINEAU, Jason (2010). airliners. Online. Dostupné na: <https://www.airliners.net/photo/Canadian-North/Boeing-737-275C-Adv/1693282> [cit. 18.03.2024]
- [33] Boeing (bez data). boeingimage. Online. Dostupné na: <https://secure.boeingimages.com/archive/737-800-Rollout-2F3XC55FEDU.html> [cit. 18.03.2024]
- [34] BODELL, Luke (2023). simpleflying. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/ryanair-swap-boeing-737-max-flights-airport-sustainability-incentives/> [cit. 18.03.2024]
- [35] KOCH, Darren (2014). airliners. Online. Dostupné na: <https://www.airliners.net/photo/USA-Navy/Boeing-P-8A-Poseidon-7378FV/2419250?qspe=ejwtjUsKAjEQRK8itR7BDw6SnV7AWXiBkG40OE5Cd0TDM> [cit. 18.03.2024]
- [36] Dvids (bez data). dvidshub. Online. Dostupné na: <https://www.dvidshub.net/search?q=E-7A+Wedgetail&view=grid> [cit. 18.03.2024]



PREPRAVNÉ PRAVIDLÁ A VYKONÁVANIE KONTROLY V LETECKEJ DOPRAVE

Karína Hricová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

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

Abstract

The paper focuses on transport rules and implementation of „security check“ in the air transport. Using specific examples, it explains seizure of prohibited items and shipments with illicit content. The reasons for seizure are described both from the perspective of aviation law in form of international legislation, and international organizations contributing to the legislation process or being part of transport. The key element of the paper is analysis of the „security check“ process and methods used until now, with the intention of providing a suggestion for implementing modern technologies in the process of „security check“.

Keywords

Security check, Prohibited items, Penalties, Smart Airport concept

1. Úvod

Pre rozvoj činnosti v oblasti civilného letectva sú rozhodujúce právne normy, ktoré upravujú letecké činnosti vo vzdušnom priestore, ale aj ich organizačné a inštitucionálne zabezpečenie. Medzinárodné organizácie zohrávajú podstatnú úlohu pri formulovaní predpisov v oblasti civilného letectva. Svojou činnosťou napomáhajú krajinám k spolupráci za účelom spoločného využívania vzdušného priestoru ku prospechu všetkých. Uľahčiť obchod medzi komunitou zaslátateľov, poskytovať informačné technológie a telekomunikačné služby, či zjednocovať dopravcov v oblasti leteckej nákladnej dopravy. Kontrola cestujúcich, ich batožiny a nákladu tvorí jeden zo základných pilierov v oblasti bezpečnostných opatrení, ktoré napomáhajú zabezpečiť bezpečnosť medzinárodného civilného letectva. Avšak technické vybavenie jednotlivých medzinárodných letísk nie je totožné. Dopašial využívané postupy prestávajú byť efektívne a je nutné zvážiť iné možnosti. Predmety, ktorých letecká preprava je zakázaná už nie sú tak jednoducho rozpoznateľné len s použitím röntgenových zariadení, detektorov kovov či vykonaním manuálnej kontroly. Konceptia inteligentných letísk a model ideálneho systému bezpečnostnej kontroly by mohol napomôcť k zefektívneniu, optimalizovaniu a zvýšeniu celkovej výkonnosti vykonávania bezpečnostnej kontroly.

Cieľom tohto článku bolo vypracovať komplexný materiál riešiaci danú problematiku, ktorý by mohol byť využívaný aj širšou odbornou verejnosťou na jednoduchšie pochopenie prepravných pravidiel a postupov, ktoré musia byť zachované pri vykonávaní bezpečnostnej kontroly v leteckej preprave. Cieľ práce je skúmaný z rôznych uhlov pohľadu, aby bolo čo najpresnejšie poukázané na vzájomné prepojenie jednotlivých odvetví leteckej dopravy do jedného celku.

2. Predmety, ktorých letecká preprava je zakázaná

Preprava tovaru leteckou dopravou poskytuje veľa výhod. Je to rýchlejšie, spoľahlivejšie, bezpečnejšie a doba prepravy je podstatne kratšia. Letecká preprava má určité pravidlá a obmedzenia, s ktorými je nutné byť oboznámený v prípade jej výberu. Existuje zoznam predmetov, ktoré nie sú povolené pri vstupe do väčšiny krajín sveta.

Tovar, ktorého preprava je zakázaná znamená, že sa jedná o predmety, ktoré môžeme považovať za škodlivé pre ľudské zdravie a teda na ich prepravu potrebujeme povolenie príslušného úradu alebo leteckej spoločnosti, ktorou budú prepravované. Dôvod zákazu prepravy tvoria aspekty ohrozenia bezpečnosti a zdravia cestujúcich alebo lietadla [1]. Častokrát pri tomto pojme dochádza k zámene s nebezpečnými predmetmi. Nakoľko za nebezpečný tovar sa taktiež považujú predmety, ktoré môžu ohroziť bezpečnosť lietadla alebo osôb na palube lietadla. Nebezpečný tovar je známy aj ako predmety s obmedzeným použitím alebo nebezpečné materiály [2].

Príručka IATA Dangerous Goods Regulation (DGR) je celosvetovou referenciou pre leteckú prepravu nebezpečného tovaru a jedinou normou uznávanou leteckými spoločnosťami [3]. Hlavný rozdiel medzi spomínanými pojmami spočíva v tom, že nebezpečné predmety sa za bežných okolností podľa uznávaných predpisov prepravujú prostredníctvom leteckej dopravy a predmety, ktorých letecká preprava je zakázaná sa za bežných okolností neprepravujú.

Medzi predmety, ktoré sú zakázané prepravovať prostredníctvom leteckej dopravy patria:

- smrtiace jedovaté infekčné materiály všetkých druhov;
- omamné a psychotropné látky všetkých druhov;
- zbrane, napodobneniny zbraní/munície, rozbušky a výbušniny všetkých druhov;

- noviny, časopisy/obrázky, propagačné materiály/audio a video produkty.

Predmety, ktoré sú podľa predpisov nebezpečné na leteckú prepravu sú:

- výbušniny a zábavná pyrotechnika;
- plyny, ako napríklad stlačený plyn, suchý ľad, hasiaci prístroj a plynové náplne;
- horľavé kvapaliny vrátane farieb, benzínu, alkoholu, motorového a gáfrového oleja;
- horľavé tuhé látky, pyroforické látky a látky, ktoré uvoľňujú horľavé plyny;
- toxické a infekčné predmety, ako sú pesticídy a lítiové batérie;
- žieravé predmety, ako sú batérie, elektrolyty alkalických batérií;
- magnetické látky, magnety bez odľahčovacích obalov, magnetická oceľ;
- oxidátory, organické peroxidy, rádioaktívne materiály a žieravé predmety, ako sú chemické lieky, laboratórne chemikálie;
- prášok bez ohľadu na farbu, kvapalina bez ohľadu na obal, pasta;
- biochemické výrobky a infekčné materiály všetkých druhov, ako je bacillus anthracis [1].

2.1. Predmety nájdené bezpečnostnou kontrolou na letisku

Nasledujúce príklady, poukazujú na nezodpovednosť cestujúcich. Prepravné pravidlá boli aj napriek prísnyh zákazom porušené. Po aplikovaných opatreniach boli cestujúcim udelené sankcie prislúchajúce závažnosti porušenia.

Pri cestovaní medzi jednotlivými kontinentami je prísny zákaz prepravy akýchkoľvek rastlinných alebo živočíšnych predmetov. Dňa 27. januára 2020 bol zaistený predmet živočíšneho pôvodu v batožine cestujúceho odborníkmi na poľnohospodárstvo z colnej a pohraničnej ochrany v USA, na medzinárodnom letisku vo Washingtone (Dulles). Jednalo sa o balík obsahujúci malé mŕtve vtáky zakúpený v Pekingu. Na predmetnom balíku bol obrázok mačky a psa. Vo vnútri sa nachádzali 6,35 až 8,89 centimetrové vtáky. Akákoľvek preprava nespracovanej živočíšnej potravy do USA je zakázaná, pretože predstavuje potenciálnu hrozbu vtáčej chrípky, čo môže viesť k narušeniu hydinárskeho priemyslu USA. Priemerný výskyt tohto nebezpečenstva počas roka 2019 bol vyčíslený na 4 700 zadržaných nelegálnych rastlinných a živočíšnych vedľajších produktov na deň. Po zadržaní bol obsah balíka zneškodnený [4].



Obrázok 1. Balenie krmiva pre domáce zvieratá. Zdroj: <https://eu.usatoday.com/story/travel/news/2020/02/11/passenger-tried-sneaking-tiny-dead-birds-washington-dulles-airport/4721804002/>

Hlavným znakom, ktoré bezpečnostné röntgeny hľadajú, je tvar zbrane. Americké zákony povoľujú prepravu zbraní v odbavenej batožine, za predpokladu, že strelná zbraň spĺňa patričné opatrenia, je skontrolovaná a predom nahlásená jej preprava [5]. Dňa 13. apríla 2019, bol zadržaný DVD prehrávač v odbavenej batožine cestujúceho pracovníkmi Úradu pre bezpečnosť dopravy (TSA) na medzinárodnom letisku v New Yorku (JFK). Prehrávač bol identifikovaný počas röntgenovej kontroly. 9 milimetrová ručná zbraň zabalená v hliníkovej fólii, ktorá sa nachádza v DVD prehrávači bola zaistená pracovníkom TSA po manuálnej kontrole. Zbraň nebola nabitá. O náleze ukrytej zbrane bola informovaná polícia príslušného úradu pracovníkmi TSA. Páchatel bol zadržaný a obvinený z porušenia zákona o preprave zbraní [6]. Štatistika v USA poukazuje, že počas roku 2019, bolo zadržaných celkovo 4 432 strelných zbraní pri vykonávaní kontroly pracovníkmi TSA. Väčšina z nich bola nabitá, prípadne s nábojom v komore [5].

3. Zásielky s nedovoleným obsahom

O nedovolených zásielkach nebezpečného tovaru sa vie len málo. Hlavní prepravcovia a poštová služba sa síce domnievajú, že takéto zásielky sú zriedkavé, ale presvedčenie sa zakladá najmä na kontrolách problémových zásielok, napríklad tých, ktoré unikli. Štatisticky platné, zovšeobecňujúce údaje nie sú k dispozícii a bolo by ťažké ich získať, a to nielen preto, že viac kontrol by pre dopravcov znamenalo zásadné zvýšenie nákladov, ale aj preto, že ústavná ochrana obmedzuje kontrolné právomoci ministerstva dopravy a poštovej služby.

Federatívne predpisy USA a nariadenia EÚ vytvárajú rámec pre bezpečnú prepravu nebezpečného tovaru, čím pomáhajú predchádzať nedeklarovaným zásielkam. Súkromný priemysel obchoduje predovšetkým so známymi odosielateľmi. Poštová služba nemôže obmedziť svoje podnikanie na známych odosielateľov, ale vyžaduje, aby zásielky s hmotnosťou necelého 0,5 kilogramu alebo viac boli prinesené zákazníkmi za účelom kontroly na poštu [7].

3.1. Zadržané zásielky s nedovoleným obsahom

Omamné a psychotropné látky nie sú hľadané pracovníkmi bezpečnostnej kontroly len u cestujúcich, ale aj v nákladnom terminály. Ich detekciu zaznamenávajú prostredníctvom špeciálne vycvičených psích tímov alebo röntgenových zariadení. K samotnej kontrole dochádza v mieste odoslania,

počas tranzitu a v mieste určenia. V prípade nálezu, môže byť zásielka otvorená a preverený jej obsah pracovníkom bezpečnostnej kontroly. K jedným z veľmi starých spôsobov prepravy omamných a psychotropných látok patrí ukrytie nezákonnej látky do špeciálne upravenej knihy. Takýto prípad bol zaznamenaný na sekundárnom medzinárodnom letisku v Londýne (Gatwick). Balík bol zaslaný súkromnou osobou prostredníctvom kuriérskej spoločnosti z Južnej Ameriky. Zásielka 3 špeciálne upravených kníh so zalepenými stranami bola zaistená pracovníkom bezpečnostnej kontroly v nákladnom termináli na letisku Gatwick. Obsahom boli 3 balíčky kokaínu o váhe 3,5 kilogramu v hodnote viac ako 100 000 libier [8].



Obrázok 2. Balík kokaínu ukrytý v knihe. Zdroj: <https://youtu.be/8aficyLmX8?t=1096>

Na medzinárodnom letisku v Miami je denne skontrolovaných približne 80 000 zásielok pracovníkmi Colnej a pohraničnej kontroly (CBP). Zásielka odoslaná z Panamy, ktorá smerovala do Georgie, bola identifikovaná psím tímom vycvičeným na zaistenie omamných a psychotropných látok. Pri opätovnom skontrolovaní zásielky pomocou röntgenového zariadenia došlo k predpokladanej zhode podozrenia. Tentokrát však predmetom podozrenia nebol samotný obsah zásielky, ale jeho balenie. Škatuľa bola hrubá a prejavovala známky manipulácie. Steny boli precízne prilepené o seba. Medzi jednotlivými kartónmi sa nachádzalo spolu 8 balíkov kokaínu. Detekcia omamnej a psychotropnej látky bola vykonaná pomocou termického vedeckého prístroja Gemini, ktorý vysiela cez použitý materiál laserový lúč. Na základe toho, je možné určiť druh omamnej a psychotropnej látky, prípadne či sa vôbec jedná o podozrivú látku. Zaisťovaných bolo 278,4 gramu nezákonne prepravovanej omamnej a psychotropnej látky v hodnote 8 300 USD [9].

4. Návrh implementácie moderných technológií do procesu kontroly

Vzhľadom na to, že letecký priemysel napreduje, s rýchlo rastúcim počtom cestujúcich sa zvyšuje aj potreba efektívnej, bezpečnej a udržateľnej prevádzky. Inteligentné letiská nanovo definujú spôsob procesných postupov na letiskách.

Vďaka strategickému plánu digitálnej transformácie využívajú letiská najnovšie technologické výdobytky. Cieľom je zefektívnenie prevádzky, optimalizovanie pridelovaných zdrojov a zvýšenie celkovej výkonnosti. Konceptiou inteligentných letísk je nová generácia letísk, ktorá využíva najmodernejšie technológie, v podobe umelej inteligencie (AI), internetu vecí (IoT), pokročilej analýzy údajov a automatizácie na zefektívnenie prevádzky, zvýšenie bezpečnosti, zlepšenie komfortu

cestujúcich a podporuje udržateľný rozvoj. Centralizovanie kontroly, riadenie a plánovanie v digitálnom prostredí bolo možné využitím inteligentných systémov, snímačov a zariadení v celom systéme letiska

4.1. Digitalizácia toku cestujúcich

Zefektívnenie prevádzky je kľúčovým aspektom digitalizácie toku cestujúcich. Využívaním inovatívnych technológií, ako sú inteligentné systémy manažmentu riadenia a systém značenia, predstavuje zlepšenie letiskovej prevádzky a zvýšenie spokojnosti cestujúcich. Inteligentné systémy manažmentu riadenia čakania v radoch poskytnú skrátenie času čakania na bezpečnostných kontrolách automatickým nasmerovaním cestujúcich do kratšieho radu, zatiaľ čo systém značenia môže poskytovať informácie v reálnom čase o zmenách brány a meškanií letov. Monitorovaním a analýzou údajov v reálnom čase z rôznych letiskových systémov, ako sú odbavovanie pulty, systémy na manipuláciu s batožinou a odletové brány, môžu letiská optimalizovať procesy a zlepšiť služby cestujúcim. Analýza údajov v reálnom čase umožní letiskám identifikovať problematické miesta a efektívnejšie pridelovať zdroje, čo vedie k rýchlejšiemu odbaveniu a skráteniu doby čakania. Okrem toho je možné vytvárať personalizované zákaznicke skúsenosti využívaním údajov o cestujúcich s cieľom poskytovať odporúčania a služby na mieru na základe ich preferencií a správania.

4.2. Optimalizovaná prevádzka letísk

Samoobslužné zariadenia na letiskách sú navrhnuté tak, aby cestujúcim poskytovali rýchlejší a efektívnejší proces odbavenia. Časovo úsporné odbavovacie kiosky a stanice na odovzdávanie batožiny vybavené biometrickými identifikačnými systémami sú v súčasnosti bežné na mnohých letiskách. Biometrické identifikačné systémy môžu pomôcť urýchliť proces odbavenia overením totožnosti cestujúceho pomocou rozpoznania tváre alebo odtlačkov prstov, čím sa zníži potreba manuálnej kontroly. Samoobslužné zariadenia môžu tiež znížiť preťaženie pri odbavovacích pultoch, čo by umožnilo rýchle a jednoduché odbavenie cestujúcich.

Inteligentné systémy manažmentu riadenia radov v spolupráci so systémom riadenia AI sa môže použiť na skrátenie čakacích dôb na bezpečnostných kontrolách, imigračných a odletových bránach. Tieto systémy využívajú údaje v reálnom čase na predvídanie pohybu cestujúcich a optimalizáciu toku cez rozličné kontrolné body. Algoritmy AI môžu prípadne analyzovať dĺžku radov a podľa toho upraviť počet zamestnancov pracujúcich na konkrétnom kontrolnom pracovisku.

4.3. Zvýšená bezpečnosť letísk

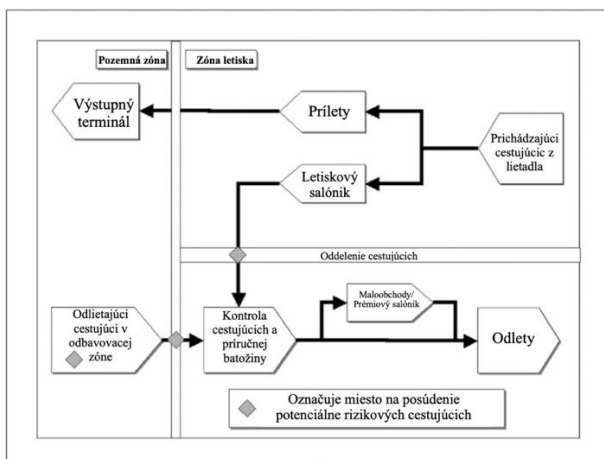
Na základe biometrických údajov využívajúcich pokročilé systémy rozpoznávania tváre, odtlačkov prstov a skenovanie dúhovky je možné využiť na bezproblémové odbavenie cestujúcich a zvýšenie bezpečnosti. Systém biometrickej identifikácie pomôže znížiť riziko zneužitia identity a zvýšenie rýchlosti bezpečnostných kontrol. Technológia rozpoznávania tváre sa môže uplatniť na porovnanie tváre cestujúcich s databázou známych páchatelov trestnej činnosti alebo teroristov a v prípade zhody by upozornila bezpečnostný personál. Biometrická identifikácia môže tiež pomôcť znížiť

potrebu manuálnych kontrol totožnosti, čím sa proces stane efektívnejším a menej náchylným na chyby.

Dohľad založený na IoT, ktoré využívajú integrované systémy dohľadu AI a IoT by boli vhodné na odhaľovanie potenciálnych hrozieb a efektívne monitorovanie priestorov letiska. Tieto systémy môžu monitorovať širokú škálu údajov vrátane bezpečnostných kamier, systémov kontroly prístupu a snímačov prostredia s cieľom odhaliť anomálie a potenciálne hrozby. Algoritmy AI by analyzovali bezpečnostné zábery s cieľom odhaliť podozrivé správanie. Dohľad založený na IoT môže pomôcť znížiť riziko narušenia bezpečnosti a zlepšiť celkovú bezpečnosť letísk [10].

4.4. Systém bezpečnostnej kontroly

Nasledujúci model je vypracovaný oddelením rozvoja letísk IATA a poskytuje pohľad na ideálny systém bezpečnostnej kontroly cestujúcich a príručnej batožiny. Tento navrhovaný systém je možné zaviesť len na novom letisku alebo na úplne modernizovanom letisku, pretože existujúce konvenčné kontrolné zariadenie sa nedá jednoducho prispôsobiť tak, aby zvládlo tento návrh. Najväčšou prekážkou pri zavádzaní takéhoto systému sú samozrejme náklady. Problémom môže byť aj nedostatok priestoru.



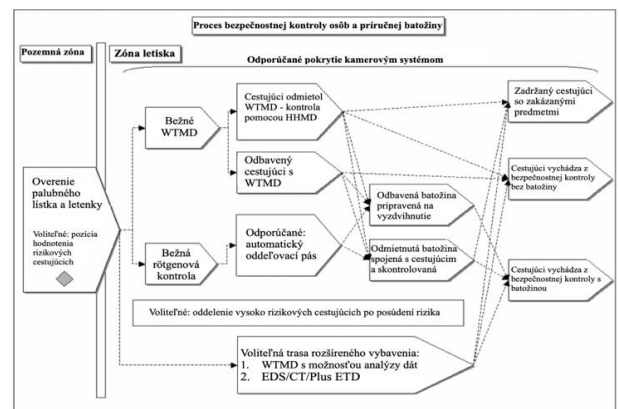
Obrázok 3. Typický proces bezpečnostnej kontroly odlietajúcich a priletajúcich cestujúcich „vyššej úrovne“. Zdroj: <https://www.icao.int/SAM/Documents/GREPECAS/2006/AVSCOMM05/avseccomm05wp14.pdf>

Na miestach definovaných na obrázkoch č.3 a 4 by sa mali použiť techniky hodnotenia rizikových cestujúcich (PRA). Príručná batožina spolu s cestujúcim bude nasmerovaná na príslušnú kontrolu pracovníkmi bezpečnostnej kontroly. Bežná úroveň primeranej bezpečnostnej kontroly bude vykonaná pred nástupom do lietadla u väčšiny cestujúcich. Zatiaľ čo celkový čas odbavenia cestujúcich sa pre všetkých cestujúcich mierne predĺži. Zvýšenie výkonu bezpečnostnej ochrany je podstatné a zameriava sa na miesta, kde sa vyhodnocuje potenciálne riziko.

Používanie automatických náhodných 5% a 10% manuálnych kontrol cestujúcich a ich príručnej batožiny sa bežne používa v mnohých oblastiach sveta. Náhodná vzorka sa určuje pomocou počítačového programu. Táto vzorka kontrolovaných cestujúcich a ich batožiny by sa mala vyberať v priebehu 24-

hodinového opakujúceho sa cyklu a nemala by byť neprírodná zaujatá pre niektorú konkrétnu časť prevádzkového dňa. Percento náhodných manuálnych kontrol cestujúcich a ich príručnej batožiny sa zvyčajne zvyšuje s vyššou úrovňou ohrozenia.

Obrázok č.3 predstavuje typickú odporúčanú mapu procesu bezpečnostnej kontroly cestujúcich pri odchode a prestupe. Je zrejmé, že by nemala byť umožnená výmena tovarových položiek v rámci letovej časti a ani by nemalo byť umožnené kontaktu s priletajúcimi a odlietajúcimi cestujúcimi.



Obrázok 4. Typický proces bezpečnostnej kontroly odlietajúcich a priletajúcich cestujúcich „nižšej úrovne“. Zdroj: <https://www.icao.int/SAM/Documents/GREPECAS/2006/AVSCOMM05/avseccomm05wp14.pdf>

Na obrázku č.4 je znázornená typická mapa procesu bezpečnostnej kontroly cestujúcich pri odlete a prestupe na oveľa podrobnejšej úrovni, kde sú jasne znázornené všetky vzájomné vzťahy medzi jednotlivými krokmi procesu. Je tiež vidieť, že úloha spojenia cestujúceho s jeho príručnou batožinou po bezpečnostnej kontrole sa stáva pomerne zložitou. Je veľmi dôležité, aby bol zabezpečený dostatok priestoru pre cestujúcich pracovníkmi bezpečnostnej kontroly a boli jasne zadefinované pokyny na nasmerovanie cestujúcich [11].

4.5. Kontrola tovaru

Digitalizácia obchodného toku je založená na využívaní technológií pre zlepšenie výmeny tovaru a služieb na letiskách. Výkonné sieťové systémy sú nevyhnutné na komunikáciu a výmenu údajov v reálnom čase medzi rôznymi zainteresovanými stranami na letiskách, ako sú letecké spoločnosti, pozemné služby a prevádzkovatelia nákladnej dopravy. So zavedením výkonných sieťových systémov môžu zainteresované strany zdieľať informácie o letových poriadkoch, dodávkach tovaru a ďalšie dôležité údaje v reálnom čase, čo im umožňuje efektívnejšie a účinnejšie spolupracovať.

Automatizáciu procesov možno využiť na sledovanie tovaru, plánovanie zdrojov a zvýšenie kybernetickej bezpečnosti. Tieto systémy sledovania tovaru môžu poskytovať informácie o polohe a stave tovaru v reálnom čase, čím sa znižuje riziko straty alebo poškodenia. Automatizované plánovanie zdrojov môže letiskám pomôcť efektívnejšie pridelovať zdroje, napríklad pridelenie brány a parkovacieho miesta pre lietadlá. Automatizácia kybernetickej bezpečnosti zvýši bezpečnosť automatizáciou odhaľovania hrozieb a reakciou na ne [10].

Existuje niekoľko dôvodov, prečo sa mnohé krajiny snažia vybaviť letiská modernými technológiami. Konkrétne je to rastový potenciál, konkurenčná výhoda, lepšia prevádzková efektívnosť a lepší komfort cestujúcich. Investovanie do inteligentných leteckých technológií je základom potenciálu pre rast spoločností a predstavuje možnosť riešení pre uspokojenie rastúceho dopytu po leteckej doprave. Letiská, ktoré sa rozhodnú pre digitálnu transformáciu a zavedú inteligentné riešenia, môžu získať konkurenčnú výhodu oproti iným letiskám. Tým, že inteligentné letiská ponúkajú efektívnejšie, pohodlnejšie a bezpečnejšie služby pre cestujúcich, dokážu prilákať viac leteckých spoločností, cestujúcich a podnikov. Pri zlepšení prevádzkovej efektívnosti dokážu automatizovať mnohé aspekty leteckej prevádzky, čím sa zníži potreba manuálnej práce a zvýši sa efektívnosť. V zásade to vedie k úspore nákladov a zvýšeniu ziskovosti prevádzkovateľov letísk. Inteligentné letiská poskytnú cestujúcim bezproblémový a komfortný pôžitok z cestovania, na základe využitia digitálnej technológie na urýchlenie procesov, skrátenie čakania a zvýšenie bezpečnosti [12].

5. Záver

Bezpečnosť bude vždy patriť medzi priority leteckej prepravy, avšak doposiaľ využívané postupy už nie sú natoľko efektívne ako kedysi. Taktiež skutočnosť, že medzinárodné letiská nedisponujú rovnakým technickým a technologickým vybavením k zlepšeniu súčasnej situácie neprispieva. Možnosti potenciálneho zamestnávania v budúcnosti nedostatočne kvalifikovaného personálu bez požadovaných skúseností by mohlo viesť k prehliadnutiu potenciálnych rizík v tejto oblasti, čo je považované za absolútne neprípustné. Je nutné zamerať sa na zefektívnenie tohto problému pre dosiahnutie možného potenciálu, ktorý moderné technológie ponúkajú. Uľahčilo by sa tým samotné vykonávanie bezpečnostnej kontroly, znížila by sa potreba manuálnej práce a predišlo by sa chybám spôsobeným ľudským faktorom. Využitím navrhovaných moderných technológií a úprav v procesných postupoch môžu letiská nadobudnúť obrovskú konkurenčnú výhodu a prilákať viac leteckých spoločností. Záverečná práca sa primárne zameriava na konkrétne prípady nezákonného prepravovania, či už zakázaných predmetov alebo zásielok s nedovoleným obsahom, so zámerom poskytnutia komplexného pohľadu na celý priebeh vykonávania bezpečnostnej kontroly. Vo väčšine prípadov, ktoré sú v práci uvedené, nebola táto tematika braná dostatočne vážne a poverené orgány ako aj páchatelia nemali vedomosť o závažnosti zistených priestupkov. Po dôkladnej analýze jednotlivých prípadov s poukázaním na ustanovenia právnej úpravy boli zistené možné následky nesprávneho prepravovania jednotlivých predmetov.

Referencie

- [1] WASIQ, 2021. Air Cargo Prohibited Items | Do's and Don'ts for Air Cargo. Qafila [online]. 30 október 2021. Cit z : <https://www.qafila.com/air-cargo-prohibited-items-dos-and-donts-for-air-cargo/>
- [2] INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. Frequently Asked Questions on Transportation of Dangerous Goods by Air. [online]. Cit z : <https://www.iata.org/en/programs/cargo/dgr/faq/>

- [3] INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. Dangerous Goods. [online]. Cit z : <https://www.iata.org/en/programs/cargo/dgr/>
- [4] OLIVER, David, 2020. Tiny dead birds found in luggage at Washington Dulles airport. [online]. Cit z : <https://eu.usatoday.com/story/travel/news/2020/02/11/passenger-tried-sneaking-tiny-dead-birds-washington-dulles-airport/4721804002/>
- [5] THE FANCY BANANA, 2021. 15 Craziest Things Found By Airport Security - YouTube [online]. 3 júl 2021. Cit z : https://www.youtube.com/watch?v=_KNNcoxbqHY
- [6] LOCAL PRESS RELEASE, 2019. New York man arrested after TSA detects gun concealed inside DVD player at John F. Kennedy International Airport | Transportation Security Administration. [online]. 18 apríl 2019. Cit z : <https://www.tsa.gov/news/press/releases/2019/04/18/new-york-man-arrested-after-tsa-detects-gun-concealed-inside-dvd>
- [7] UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE, 2003. Undeclared Air Shipments of Dangerous Goods and DOT's Enforcement Approach [online]. Cit z : <https://www.gao.gov/assets/gao-03-22.pdf>
- [8] REAL RESPONDERS, 2022. Officer Discovers Books Laced With Illegal Substance | Customs | Real Responders [online]. 2022. Cit z : <https://www.youtube.com/watch?v=8aficyLLmX8>
- [9] NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022. Stash House Takedown (Full Episode) | To Catch a Smuggler [online]. 2022. Cit z : <https://www.youtube.com/watch?v=AUFQ44Y3TRM>
- [10] INSIGHT BYTES, 2023. The future of Airports: Tech-Driven Smart Airports. [online]. 26 apríl 2023. Cit z : <https://www.linkedin.com/pulse/future-airports-tech-driven-smart-gloriousinsight-digital>
- [11] ICAO, 2006. MAJOR INTERNATIONAL AIRPORT PASSENGER AND CARRY-ON BAGGAGE SCREENING GUIDANCE MATERIAL [online]. Cit z : <https://www.icao.int/SAM/Documents/GREPECAS/2006/AVSCOMM05/avseccomm05wp14.pdf>
- [12] IMSON, Noah, 2023. Smart Airports: The Future of Airports in Southeast Asia. [online]. júl 2023. Cit z : <https://ycpsolidiance.com/article/smart-airports-digital-transformation-southeast-asia>



DIDAKTICKÉ POMÔCKY VETERNÉHO TUNELA

Marta Hronská
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Pavol Pecho
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of the paper is to approach the issue of the flowing around didactic tools in the wind tunnel. Didactic tools are used for education and help in understanding the issue of aerodynamics. In the first part, the paper deals with theoretical knowledge about the wind tunnel and then describes the theory and laws of aerodynamics. The core of this work is the analysis of the given objects realized through numerical and experimental methods. By using CFD simulation of didactic tools, it was possible to obtain aerodynamic drag values, from which the values for the drag coefficient were calculated and then compared with tabular values from theory. Experimental verification of individual objects was carried out in a wind tunnel located at the Department of Air Transport in Dolný Hričov. The result of tests in the wind tunnel was the visualization of the air flow around the didactic aids. At the end of the work, both methods were compared and the reasons for deviations and inconsistencies were described.

Keywords

wind tunnel, aerodynamics, CFD simulation, fluid flow

1. Úvod

Didaktika je veda, ktorá sa zaoberá náukou a vzdelávaním. Aerodynamika je veda, ktorá opisuje pohyb plynu alebo tekutiny okolo pevného telesa. Spojenie týchto dvoch odborov dokáže zefektívniť a oživiť vzdelávací proces. V súčasnej dobe rýchleho technologického napredovania zohrávajú didaktické pomôcky kľúčovú úlohu pri štúdiu zložitých fyzikálnych javov a aplikácie pomôcok do praxe. Integráciou takýchto pomôcok do vzdelávacieho procesu sa očakáva zlepšenie pochopenia učiva.

Tento článok sa zameriava na návrh a analýzu didaktických pomôcok veterného tunela. Na začiatku sa autor snaží priblížiť čitateľovi veterný tunel a jeho základné princípy fungovania a zákonitosti aerodynamiky, ktoré sa využívajú pri experimentoch vo veternom tuneli. V praktickej časti sa bude pracovať s CFD simuláciou a experimentom vo veternom tuneli ako metódami analýzy, ktoré sa pokúsia vizualizovať prúdenie plynu okolo didaktických pomôcok.

Zámerom tohto výskumu je demonštrovať ako integrácia didaktických pomôcok môže prispieť k lepšiemu pochopeniu a vizualizácii prúdenia plynu okolo pevného telesa.

2. Veterný tunel

Veterný alebo inak nazývaný aerodynamický tunel je zariadenie, ktoré slúži na skúmanie aerodynamických vlastností tuhých telies. Tieto skúmané tuhé telesá môžu predstavovať model daného objektu alebo reálne vyhotovenie. Vo veternom tuneli je na výskum využívaný prúd vzduchu, ktorý prúdením skrz veterný tunel dokáže dokonalo simulovať reálny pohyb prúdu okolo telesa a vplyvu naň. Skúmané telesá vo veternom tuneli môžu byť pevné, pružné alebo pohyblivé. [1]

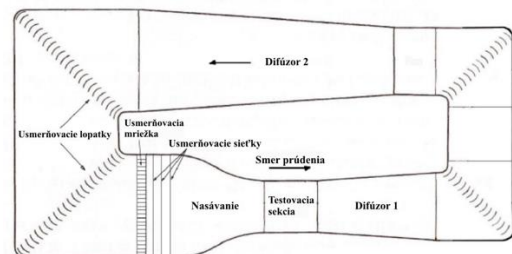
Aplikácia a uplatnenie týchto zariadení má dosah do rôznych druhov odvetví, ako napríklad v letectve, kozmickom

inžinierstve, stavebnom inžinierstve a automobilovom priemysle.

Simuláciu v aerodynamickom tuneli je možné nastaviť na reálne klimatické podmienky prostredia, kde sa dané teleso bude vyskytovať prípadne, akým bude musieť odolávať. Následne po spustení veterného tunela a dodatočných analýzach inžinieri majú možnosť odstraňovať chyby, vylepšovať konštrukcie, meniť materiály či robiť iné ďalšie úkony, aby sa docielilo teleso s ideálnymi aerodynamickými vlastnosťami pre dané prostredie.

2.1. Tunely s uzavretým okruhom

Tunely s uzavretým okruhom, tiež nazývané ako cirkulačné tunely, sa odlišujú od tunelov s otvoreným okruhom tým, že vzduch z výstupnej dýzy neprúdi z tunela von, ale sa privádza späť do vstupného ústrojenstva. To znamená, že prúdaci vzduch sa re-cirkuluje dovnútra [1] a kontinuálne obieha tunelom pri minimálne prípadne žiadnej výmene vzduchu s okolím. [2]



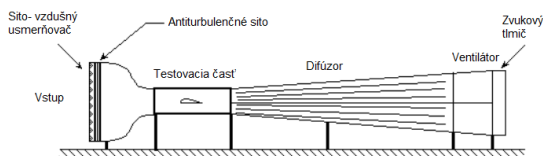
Obrázok 1. Schéma veterného tunela s uzavretým okruhom. Zdroj: Vlastné spracovanie podľa [3]

Pri aerodynamickom tuneli s takýmto okruhom v komparácii s tunelom s otvoreným okruhom existujú výhody, ako napríklad zmena charakteristík použitej kvapaliny (tlak, teplota, vlhkosť, viskozita atď.) a možnosť aplikovať otvorenú alebo

polootvorenú testovaciu komoru, čo umožňuje jednoduchšiu manipuláciu s modelmi a logistiku pri ich umiestňovaní. [1]

2.2. Tunely s otvoreným okruhom

Do aerodynamického tunela s otvoreným okruhom prúdi vzduch z okolitého prostredia do ústia s konštantným prierezom (zvyčajne štvorcový, kruhový alebo obdĺžnikový prierez) a následne nasávaný vzduch pokračuje cez zbiehavý úsek, ktorý končí pri prahu testovacej komory. Testovacia časť má konštantný prierez a je tvorená z materiálu, ktorý umožňuje vidieť do tunela, pretože v tejto časti tunela sa nachádza model objektu, ktorý je analyzovaný. Rýchlosť prúdenia vzduchu je v testovacej sekcii najvyššia. Potom vzduch prúdi cez difúzor ďalej do okolitého prostredia, čo znamená, že nie je vedený späť. [2]



Obrázok 2. Schéma veterného tunela s otvoreným okruhom. Zdroj: [4] s. 16

3. Aerodynamika

Pre lepšie pochopenie veterného tunela, je potrebné si zadefinovať základné pojmy z aerodynamiky. Aerodynamika je veda, ktorá sa zaoberá skúmaním vlastností a zákonitostí prúdenia plynu. Tento vedný odbor popisuje pohyb plynu a interakciu s telesami, ktoré sú doň vložené a plyn ich obteká. Práve výskum prúdenia plynu pri obtekaní telies definoval základný účinok prúdenia a je ním silové pôsobenie na dané predmety, ktoré kladú odpor voči prúdeniu. Odporová sila závisí na tvare a veľkosti obtekaného telesa, rýchlosti a hustote prúdiaceho média. [2, 5]

3.1. Teória prúdenia tekutín

Tekutinu a tuhé teleso rozlišuje ich základná vlastnosť - pohyblivosť molekúl v kvapaline a tuhom telese. Pohyb tuhého telesa sa popisuje ako tuhý celok hmotných bodov. Tekutina oproti tuhému telesu sa neustále deformuje. Tekutina nemá vlastný tvar a pri pôsobení nepatrných dotykových síl sa jej častice uvedú do pohybu. Tekutiny tečú v prúde ohraničenom pevnými stenami alebo tvoria rozhranie. [6]

Laminárne prúdenie je prúdenie charakterizované rovnomerným tokom. Jednotlivé molekuly sa pohybujú paralelne vedľa seba v tenkých vrstvách, tak ako je viditeľné na obrázku 4. V tomto prúdení je priebeh rýchlostí častíc pravidelný.

Turbulentné prúdenie je nerovnomerný tok častíc. Dráhy častíc sa navzájom ovplyvňujú a vytvárajú víry. Priebeh rýchlostí častíc je nepravidelný, majú turbulentnú rýchlosť, ktorou sa premiestňujú po priereze.

4. Metodika a metódy skúmania

Hlavnou myšlienkou výskumu je návrh a analýza didaktických pomôcok veterného tunela. Navrhnutých bolo päť rôznych

objektov a to kocka, guľa, kvapka, golfová loptička a doska s brúsnym papierom. Tieto objekty sa analyzovali prostredníctvom numerickej a experimentálnej metódy. Numerickej metódy bola realizovaná v CFD programe, z dôvodu zložitých rovníc, ktorých počítanie ručne je často kontraproduktívne. Experimentálne overenie prebiehalo vo veternom tuneli, ktorý sa nachádza na Katedre leteckej dopravy v Dolnom Hričove.

4.1. Computational fluid dynamics (CFD)

CFD metóda predstavuje numerické metódy pre riešenie a výpočet podrobných modelov prúdenia na počítači. [7] Využitie metódy CFD nesie viaceré výhody pre inžinierov a vývojárov rozličných odvetví. Jednou z výhod je eliminácia rizika, čo v realite môže predstavovať napríklad zníženie výskytu zlyhání konštrukčných celkov skôr, než sa dané riziko vyskytne. Náklady a časová náročnosť CFD simulácie oproti testovaniu objektu v realite, sú oveľa nižšie.

Program CFD slúži na vyriešenie matematických rovníc konkrétneho problému pomocou počítača. V prvom rade si zadefinuje geometrickú štruktúru objektu na konečný počet prvkov. Výsledok závisí od počtu buniek. Samozrejme platí, ak má program dať presnejšie výsledky, tak potrebuje vyššie číslo. Následne je potrebné vytvoriť druhú sieť (Mesh), ktorá zobrazuje objem tekutiny. Po zadefinovaní všetkých podmienok pre simuláciu konkrétneho problému, je možné simuláciu spustiť. Po skončení simulácie nastáva záverečná časť, v ktorej sa zobrazujú analýzy výsledkov a riešenia problému. Taktiež v časti výsledkov je možné vizualizovať prúdenie či zobraziť interakciu medzi telesom a kvapalinou či plynom. [1]

4.2. Didaktické pomôcky

Didaktické pomôcky, ktoré sú uplatnené v tejto práci, predstavujú základné geometrické útvary, prípadne základné predmety, s ktorými sa ľudia bežne stretávajú v realite. Konkrétne didaktické pomôcky, ktoré boli vybrané pre túto prácu sú kocka, guľa, golfová loptička, plocha s drsným povrchom a kvapka.

Pre efektívne skúmanie vo virtuálnom prostredí je nutné najprv v počítačovom programe namodelovať objekty, ktoré následne budú predmetom testovania pomocou numerickej metódy v CFD softvéri. Program zvolený na vytvorenie virtuálnych didaktických pomôcok je Autodesk Inventor. Proces modelovania nie je zložitý, keďže ide o základné predmety. Použité rozmery sa zvolili na základe analýzy a porovnania s podmienkami, ktoré ponúka veterný tunel na Katedre leteckej dopravy na letisku v Dolnom Hričove.

4.3. Veterný tunel

Aerodynamický tunel Katedry leteckej dopravy sa nachádza na Letisku Žilina v Dolnom Hričove. Je charakterizovaný ako nízko rýchlostný aerodynamický tunel s otvoreným okruhom. Základná časť konštrukcie tvorí topoľová preglejka, čo zlepšuje tlmenie vibrácií z prúdenia vzduchu. [1]

Veterný tunel je rozdelený do štyroch vzájomne prepojených sekcií. Vstupná časť je tvarovaná ako postupne zužujúci sa kužeľ, ktorý sa následne napája na testovaciu sekciu. Pohonnou jednotkou tohto veterného tunela je ventilátor, ktorý sa

nachádza na výstupe difúzora. Pre usmernenie prúdu vzduchu sa v nasávacej sekcii nachádza hliníkové jadro s hexagonálnym tvarom mriežky. V testovacej sekcii sa nachádzajú dve Pitotove trubice pre indikáciu celkového a dynamického tlaku. Na pravej strane od testovacieho priestoru sa nachádza manometer, ktorý sa využíva na vyhodnotenie rozdielu tlakov nameraných Pitotovými trubicami.

Vizualizácia na aerodynamickom tuneli Katedry leteckej dopravy je prevádzkovaná dvomi spôsobmi. Prvý z nich je systém laserovej anemometrie častíc a druhým je vizualizácia prúdenia pomocou generátora dymu.

5. Výsledky z CFD simulácie

Po ukončení simulácií v CFD programe boli vygenerované výsledky pre každé teleso pri troch rýchlostiach prúdiaceho média. Porovnanie veľkosti súčiniteľa odporu sa vyhodnotilo navzájom medzi jednotlivými didaktickými pomôckami pri rovnakej rýchlosti prúdenia vzduchu. Z toho vyplýva, že vznikli tri situácie prúdenia vzduchu, ktorým boli objekty vystavené.

Výsledné hodnoty odporu vzduchu po priebehu simulácie sa spísali do troch tabuliek číslo 1, 2 a 3 podľa rýchlosti prúdenia vzduchu. Ako komparatívny parameter pri jednotlivých didaktických pomôckach sa zvolil koeficient odporu. Koeficient odporu je číslo, ktoré sa v aerodynamike používa na modelovanie všetkých zložitých závislostí tvaru, sklonu a podmienok prúdenia na odpor, napríklad lietadla. [8]

Výsledné hodnoty odporu po CFD simulácii sa so zvyšujúcou rýchlosťou zväčšujú pri každom jednom objekte. Najväčšiu zmenu podľa tabulky 1, 2 a 3 je možné vidieť pri kocke a guľi. Hodnoty C_D zo simulácie zachovávajú približne rovnakú hodnotu s minimálnou odchýlkou pri jednotlivých rýchlostiach. Porovnanie výsledných hodnôt C_D zo simulácie s hodnotami C_D teoretickým by malo ukázať nulovú odchýlku. Avšak podľa hodnôt v posledných dvoch stĺpcoch v tabuľkách 1, 2 a 3 tento stav nenastal. Prijateľné výsledky vykazujú objekty guľa a kvapka, pri ktorých je odchýlka minimálna a je možné usúdiť, že simulácia v CFD softvéri prebehla úspešne. Naopak pri kocke a golfovej loptičke sú rozdiely medzi výslednými hodnotami C_D zo simulácie a hodnotami C_D z teórie veľké. Pri kocke je možné tvrdiť, že pri zvyšovaní rýchlosti sa nesúlad simulovanej a teoretickej hodnoty C_D zväčšuje. Protikladom je golfovej loptička, ktorej výsledná hodnota C_D zo simulácie sa zrýchľovaním prúdenia vzduchu približuje k hodnote C_D teoretickej.

Tabuľka 1. Výsledné hodnoty z CFD simulácie pri rýchlosti 35 km/h

Objekt	$D_{\text{simulácia}}$ [N]	C_D zo simulácie	C_D teoretické
Kocka	1,83	0,714	1,05
Guľa	2,66	0,32	0,47
Kvapka	0,36	0,062	0,04
Golfová loptička	0,53	0,064	0,4

Tabuľka 2. Výsledné hodnoty z CFD simulácie pri rýchlosti 45 km/h

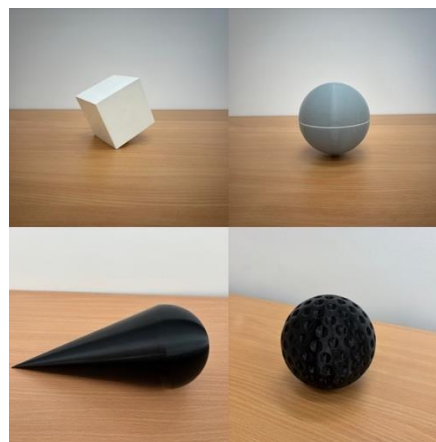
Objekt	$D_{\text{simulácia}}$ [N]	C_D zo simulácie	C_D teoretické
Kocka	3,07	0,701	1,05
Guľa	4,39	0,319	0,47
Kvapka	0,59	0,062	0,04
Golfová loptička	0,89	0,065	0,4

Tabuľka 3. Výsledné hodnoty z CFD simulácie pri rýchlosti 55 km/h

Objekt	$D_{\text{simulácia}}$ [N]	C_D zo simulácie	C_D teoretické
Kocka	4,47	0,684	1,05
Guľa	6,71	0,327	0,47
Kvapka	0,89	0,062	0,04
Golfová loptička	1,39	0,068	0,4

6. Experimentálne overenie vo veternom tuneli

Testovaniu vo veternom tuneli predchádza rovnaká príprava ako pri CFD simulácii, čo znamená v tomto prípade vytvorenie didaktických pomôcok. Najefektívnejší spôsob bol využiť namodelované objekty v programe Inventor a vytlačiť ich na 3D tlačiarňi. Na obrázku 3 je vidieť jednotlivé objekty, ktoré sú už pripravené na experiment vo veternom tuneli.



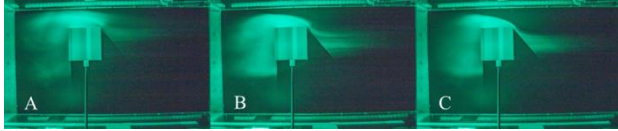
Obrázok 3. Didaktické pomôcky vyrobené pomocou 3D tlače

Experimentálne overenie prebiehalo rovnako ako počas CFD simulácie pri rýchlostiach 35 km/h, 45 km/h a 55 km/h. Rýchlosť sa nastavila podľa nameraného tlaku Pitotovými trubicami prislúchajúceho danej rýchlosti. Hodnota tlaku podľa prevodného grafu pri rýchlosti 35 km/h bola 60 Pa, pri 45 km/h 95 Pa a pri rýchlosti 55 km/h bola hodnota tlaku 140 Pa. Vizualizácia obtekania telesa bola sprostredkovaná využitím dymovej vizualizácie a laserovej roviny.

6.1. Kocka

Na obrázku 4 sú vyobrazené kocky pri troch rýchlostiach časť A zobrazuje test pri rýchlosti prúdenia 35 km/h, časť B 45 km/h a časť C 55 km/h. Narastajúca rýchlosť prúdenia vzduchu

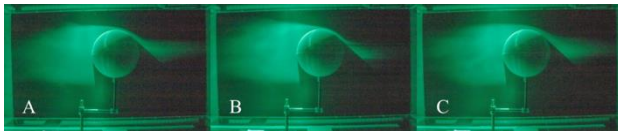
ovplyvňovala len silu prúdenia respektíve hodnotu aerodynamických síl. Na prednej hrane kocky je viditeľné odtrhávajúce prúdy vzduchu. Po vrchnej strane vzduch prúdi laminárne. Za zadnou hranou kocky sa vzduch opätovne odtrháva a na časti A obrázku 4 je veľmi dobre dymom vykreslené vírenie prúdu.



Obrázok 4. Obtekanie kocky vo veternom tuneli pri rýchlosti (A) 35, (B) 45 a (C) 55 km/h

6.2. Guľa

Prúdenie okolo gule charakterizuje laminárne prúdenie. Z obrázku 5 od časti A po C je evidentné, že postupným zvyšovaním rýchlosti sa forma prúdenia nemení, zmena nastáva iba v priestore za guľou. Laminárna medzná vrstva prechádza do turbulentnej v mieste kde sa prúd odtrháva, teda po prechode prúdu na zadnú stranu gule. V rovnakom mieste prúd vzduchu postupuje do úplavu za objektom. Keďže v oblasti úplavu nastáva podtlak, vznikajú tu vírivé prúdy, čo je čiastočne vidieť na obrázku 5.



Obrázok 5. Obtekanie gule vo veternom tuneli pri rýchlosti (A) 35, (B) 45 a (C) 55 km/h

6.3. Kvapka

Učebnicový príklad laminárneho prúdenia vzduchu nastáva v prípade kvapky. Toto tvrdenie potvrdzuje aj obrázok 6, kde dymom vizualizovaný prúd vzduchu sa tiahne pozdĺž celej vrchnej strany telesa. Pri detailnejšom skúmaní obrázka 6, je možné si všimnúť malý nedostatok v podobe odtrhávania prúdu vzduchu v najvyššom bode profilu kvapky. Prúd sa v danom mieste odtrháva z dôvodu nedokonalého prechodu medzi guľovitou a kužeľovou časťou kvapky. Zrýchľovanie prúdenia spôsobuje silnejšie primknutie prúdu vzduchu na povrch telesa. Iba pri tomto objekte nastáva situácia, kedy po prechode prúdiaceho média okolo telesa prúd za telesom pokračuje v rovnakom smere. Prúd vzduchu pokračuje v nezmenenom smere vďaka tvaru telesa - kvapky.



Obrázok 6. Obtekanie kvapky vo veternom tuneli pri rýchlosti (A) 35, (B) 45 a (C) 55 km/h

6.4. Golfová loptička

Vylisované jamky na golfovej loptičke predstavujú faktor, ktorý najviac ovplyvňuje správanie sa prúdu vzduchu. Na obrázku 7 v časti A, kedy je teleso ofukované prúdom s rýchlosťou 35 km/h, je viditeľná medzná vrstva a jemné rozvrstvenie prúdu

vzduchu. Prúdenie pokračuje laminárne po povrchu golfovej loptičky. Odtrhávajúce a vírenie prúdu nastáva až v druhej polovici objektu, kde sa objekt začína zaobľovať. Zvýšenie rýchlosti prináša zväčšenie oblasti úplavu a výraznejšie víry.

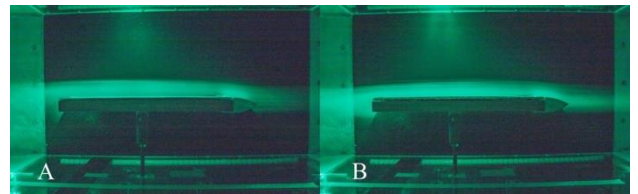


Obrázok 7. Obtekanie golfovej loptičky vo veternom tuneli pri rýchlosti (A) 35, (B) 45 a (C) 55 km/h

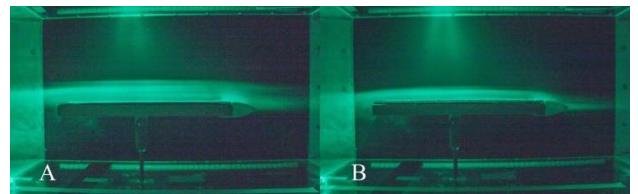
6.5. Doska s brúsnym papierom

Do výskumu bol zaradený ešte jeden objekt - plocha s drsným povrchom, ktorú sa nepodarilo simulovať pomocou CFD programu. To však neprekážalo uskutočniť testovanie prúdenia tejto dosky vo veternom tuneli.

Hypotéza pre prúdenie okolo dosky s brúsnym papierom predpokladala výskyt turbulentného prúdu a odtrhávajúce prúdy. Obidva javy sa mali so zväčšovaním drsnosti povrchu a zvyšovaním rýchlosti prúdu vzduchu zväčšovať. Reálny test vo veternom tuneli nepotvrdil ani jeden z predpokladov. Obrázok 8 ukazuje, že prúdenie vzduchu okolo tohto objektu malo laminárny charakter. Časť A zobrazuje dosku s najjemnejším šmirglom a časť B naopak najdrsnejší povrch brúsneho papiera pri rýchlosti 35 km/h. Ani zvýšením rýchlosti prúdenia na 55 km/h sa prúd neodtrhával a ani sa nezmenil na turbulentný, čo dokazuje vizualizácia na obrázku 9. Experiment prebehol pri kladnom aj zápornom uhle nábehu, avšak opäť sa hypotéza nepotvrdila a prúdenie zostalo laminárne. Detailný pohľad na obrázok 8 a 9 ukazuje odtrhávajúce prúdy vzduchu pri prechode z nábežnej časti na povrch dosky, čo mohlo byť spôsobené nedokonalým zlepením týchto dvoch častí.



Obrázok 8. Obtekanie plochy s drsným povrchom pri rýchlosti 35 km/h (A nižšia drsnosť povrchu 160, B vyššia drsnosť povrchu 40)

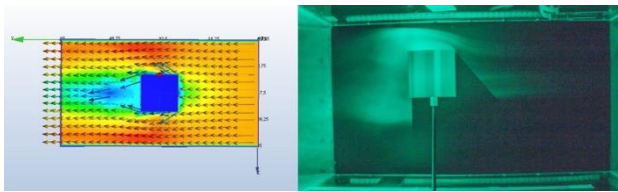


Obrázok 9. Obtekanie plochy s drsným povrchom pri rýchlosti 55 km/h (A nižšia drsnosť povrchu 160, B vyššia drsnosť povrchu 40)

7. Porovnanie CFD simulácie a experimentu vo veternom tuneli

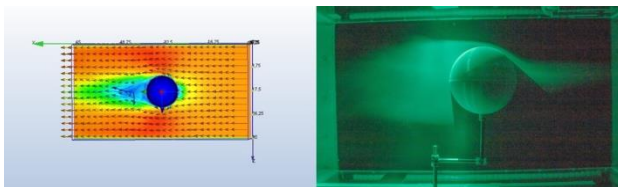
Pri porovnaní hodnôt z CFD simulácie a teoretickými hodnotami nastali viaceré nezrovnalosti. Pri porovnaní vizualizácií z oboch metód analýzy vychádzali vo väčšine zhody. Dokazuje to aj obrázok 10, kde je zobrazené naľavo obtekanie kocky po CFD simulácii a napravo obtekanie kocky vo veternom tuneli. Je

viditeľné, že vizualizácie sa zhodujú, no vo veternom tuneli je lepšie zobrazená oblasť úplavu, kde prúd vzduchu vytvára víry.



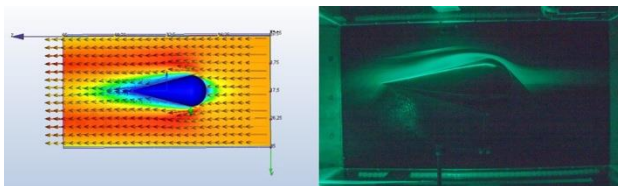
Obrázok 10. Porovnanie vizualizácií prúdenia vzduchu okolo kocky (naľavo CFD simulácia, napravo experiment vo veternom tuneli)

Rovnaký jav nastáva aj v prípade gule. Vektory viditeľné na obrázku 11 na vizualizácii po CFD simulácii smerujú rovnako ako dymová stopa prúdu vzduchu vo veternom tuneli. Jediný rozdiel predstavuje priestor za guľou, kde sa nachádza úplav. Dymová vizualizácia pôsobí celistvejšie oproti vektorom smerujúcich do rôznych strán.



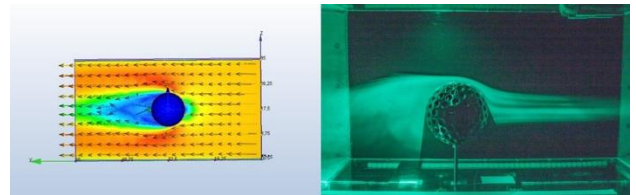
Obrázok 11. Porovnanie vizualizácií prúdenia vzduchu okolo gule (naľavo CFD simulácia, napravo experiment vo veternom tuneli)

Kvapka, ako učebnicový príklad obtekania vzduchu okolo telesa, predstavuje ukážkovú zhodu vizualizácie medzi CFD softvérom a veterným tunelom. Ako možno pozorovať na obrázku 12, laminárny prúd vzduchu sa tiahne pozdĺž celého povrchu telesa pri obidvoch vizualizáciách. V tomto prípade je zhoda aj v oblasti úplavu.



Obrázok 12. Porovnanie vizualizácií prúdenia vzduchu okolo kvapky (naľavo CFD simulácia, napravo experiment vo veternom tuneli)

Posledným objektom komparácie medzi vizualizáciami CFD je golfová loptička. Obrázok 13 zobrazuje vizualizáciu prúdenia vzduchu okolo golfovej loptičky po CFD simulácii (naľavo) a vo veternom tuneli (napravo). Jamky na povrchu golfovej loptičky slúžia na znižovanie aerodynamického odporu, čo dokazovali aj hodnoty po CFD simulácii. Pri vizualizácii z CFD programu je vidieť, že tieto jamky spôsobujú slabé odtrhávajúce prúdy vzduchu. Naopak test vo veternom tuneli dokazuje, že prúdenie je laminárne a k odtrhávaniu prúdu vzduchu nedochádza. Príklad golfovej loptičky dokazuje, že overenie jednej metódy pomocou druhej prináša spoľahlivejšie výsledky.



Obrázok 13. Porovnanie vizualizácií prúdenia vzduchu okolo golfovej loptičky (naľavo CFD simulácia, napravo experiment vo veternom tuneli)

8. Záver

Tento článok sa venoval javom a zákonom aerodynamiky. Aerodynamika popisuje vlastnosti a správanie vzájomného pôsobenia prúdiaceho média a pevných objektov. Existujú rôzne prostriedky, spôsoby či zariadenia, ktoré vedci využívajú na popis aerodynamických javov. V tejto práci sa prúdenie vzduchu testovalo CFD simuláciou a experimentom vo veternom tuneli.

Predmetom skúmania boli didaktické pomôcky základných geometrických tvarov. Navrhnuté didaktické pomôcky boli skúmané pomocou numerickej metódy a experimentálnej metódy. Simulácia v CFD softvéri je vysoko efektívny nástroj a dokáže odhaliť aerodynamické nedostatky ešte pred výrobou daného objektu. Na druhej strane CFD softvér nie je dostatočne spoľahlivý ako reálny test vo veternom tuneli.

Ukázalo sa, že veterný tunel poskytuje hodnotný a interaktívny spôsob vizualizácie a experimentov s aerodynamickými javmi. V kombinácii s modernými výpočtovými metódami ako je CFD simulácia, prispievajú k lepšiemu pochopeniu a zobrazeniu prúdenia vzduchu.

Objekty skúmané v tejto štúdii sa dajú využiť v rámci vzdelávania o aerodynamike. Ich jednoduchý tvar prináša veľký benefit v oblasti chápania prúdenia plynu a transformácie teoretických poznatkov do praxe. Najväčším prekvapením bola plocha s brúsnym papierom, pri ktorej test neprebíhal podľa očakávaní. Je potrebné ešte upraviť danú pomôcku tak, aby spĺňala účel zamerania.

Na záver možno konštatovať, že veterný tunel a CFD simulácia majú perspektívu v oblasti vedy a výskumu. Vzdelávanie môže byť niekedy náročný proces a didaktické pomôcky pomáhajú objasniť komplexné fyzikálne javy. Okrem toho môžu zlepšiť zapamätanie si učiva, zvýšiť záujem študentov o štúdium ako aj podporiť aktívnu účasť študentov na vyučovacom procese.

Referencie

- [1] P. Pecho a K. Šajbanová, Počítačové simulácie v letectve - Návody na cvičenia, Žilina: EDIS-vydavateľstvo UNIZA, 2022.
- [2] M. Murgašová, - *Experimentálne meranie a numerické riešenie prúdenia pri obtekaní telies*, Bratislava, 2014.
- [3] „Chegg,“ [Online]. Available: <https://d2v1cm61l7u1fs.cloudfront.net/media%2F192%2>

F19298a70-ea67-449a-8228-
f9e3a8a1f2fa%2FphpGDu6Lm.png.

- [4] A. Gross, „Aerodynamické tunely pre automobily,“ 2014. [Online]. Available: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84653. [Cit. 2024].
- [5] M. Bugaj, Aeromechanika 1 : základy aerodynamiky, Bratislava: DOLIS, 2015.
- [6] „Mechanika tekutin,“ 12 2017. [Online]. Available: https://ooze.fberg.tuke.sk/wp-content/uploads/2017/12/Mechanika-tekutin_skripta-1.pdf. [Cit. 23 3 2024].
- [7] P. Gašparovič, *CFD modelovanie transsonického prúdenia v dúchadle leteckého motora*, Košice, 2008.
- [8] NASA official, „Drag Coefficient,“ 28 Júl 2022. [Online]. Available: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/drag-coefficient/>. [Cit. 2024].



NAPÁJANIE AVIONIKY LIEDADIEL S KLASICKOU AVIONIKOU A GLASS KOKPIT

Matúš Chmelan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

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

Abstract

The bachelor thesis focuses on the analysis of avionic systems and their power sources on board aircraft. It describes the evolution of the basics of avionic systems that have gradually evolved into their modern form and describes the standards that B2 licensees must meet to be authorized to perform maintenance on these systems. It focuses primarily on defining power system requirements from a safety and regulatory perspective. An analysis of glass cockpit designs from five avionics system manufacturers will be performed, comparing the cost, power consumption and compatibility of these products. The set of standards and regulations that each avionics system must meet to be eligible for civil operation will also be summarised. Finally, this thesis raises awareness of the entire process of development, maintenance, certification and operation of avionics systems and their power supplies.

Keywords

Glass cockpit, classic avionics, electrical system, Part 66-B2

1. Úvod

V oblasti avioniky sme svedkami pôsobivého vývoja, ktorý nás previedol cez štyri základné typy systémov: distribuovanú analógovú sústavu, distribuovanú digitálnu sústavu, združenú digitálnu sústavu a integrovanú modulárnu sústavu.

Distribuovaná analógová sústava bola prvým krokom, sústavou bodových riešení s množstvom káblov na zabezpečenie spojov. Aj keď spoľahlivá, táto sústava vyžadovala veľké množstvo zložitých elektromechanických prístrojov, čo zvyšovalo cenu a náklady na údržbu. Distribuovaná digitálna sústava priniesla technologický posun, využívala zbernicu dát ARINC 429 a postupne prechádzala na moderné zobrazovacie jednotky ako EFIS, EICAS a ECAM. Toto zlepšenie znamenalo nižšiu váhu, cenu a zjednodušené modifikácie, čo výrazne zvýšilo výkon a spoľahlivosť.

Združená digitálna sústava vytvorila prepojené a vzájomne závislé avionické systémy, čo zjednodušilo zdieľanie informácií a zlepšilo celkové fungovanie. ARINC 629, odvodený od MIL-STD-1553B, umožnil rýchly a flexibilný prenos dát medzi terminálmi.

Integrovaná modulárna sústava (IMA) bola revolúciou v avionike, znížila váhu, náklady na údržbu a vytvorila univerzálny výpočtový prostriedok. Norma ARINC 664 umožnila rýchlu a spoľahlivú duplexnú komunikáciu s rýchlosťou 100 MB/s prostredníctvom Ethernetu.

Vývoj avionických systémov sa sústreďuje na splnenie prevádzkových požiadaviek, ako je spôsobilosť pre prevádzku, spoľahlivosť, údržba, certifikovateľnosť, cena, technické ohrozenie, hmotnosť a spotreba elektrickej energie. Na údržbu avionických systémov je potrebná licencia Part 66- B2, ktorá vyžaduje základné vedomostné požiadavky a zručnosti, ako aj skúsenosti v rôznych oblastiach komunikácie, prístrojov,

sledovacích a navigačných zariadení. Držiteľia tejto licencie sú oprávnení vykonávať údržbu na elektrickej sústave lietadla, avšak na určitých lietadlách, označených ako Skupina 1, môže byť vykonávaná len na základe type ratingu.

Tento vývoj od distribuovanej analógovej sústavy až po integrovanú modulárnu sústavu ukazuje dynamiku a pokrok v avionike, ktorý sa zameriava na zlepšenie výkonu, spoľahlivosti a efektívnosti, pričom zároveň spĺňa prísne prevádzkové požiadavky a normy.

Porovnanie napájania prístrojov v general aviation (GA) sa zaoberá rôznymi aspektmi zdrojov a systémov elektrickej energie, dizajnom batérií, systémami generovania elektrickej energie a ochranou elektrického obvodu.

Zdroje elektrickej energie musia byť navrhnuté tak, aby dodávali požadovanú energiu pri vhodnom napätí a musia byť chránené pred poškodením a nebezpečenstvami pre posádku a lietadlo. Batérie sú podrobne špecifikované, vrátane bezpečnostných opatrení a požiadaviek na ich fungovanie, a musia byť schopné zásobovať lietadlo po dobu 30 minút v prípade zlyhania generátorov. Systémy generovania elektrickej energie musia byť spoľahlivé a mať integrované ochranné prvky a signalizáciu porúch. Ochrana elektrického obvodu musí zahŕňať ističe a poistky a ochranu pred požiarom. Elektrické káble a vybavenie musia spĺňať špecifické požiadavky na odolnosť a bezpečnosť.

V rámci GA existujú dve hlavné kategórie elektrických sústav - 14 voltové a 28 voltové, ktoré ovplyvňujú rozvoj analogových a sklenených kokpitov. Základná elektrická sústava zahŕňa alternátor/dynamo, akumulátor, hlavný vypínač, regulátor napätia a ďalšie komponenty. Dynamá s bočným vinutím sú často používané na vytváranie jednosmerného prúdu v lietadlách GA.

Klasický kokpit, s množstvom analógových prístrojov, bol spoľahlivý, avšak ťažký a nákladný. Každý prístroj zabezpečoval konkrétnu funkciu, čo v prípade zlyhania jedného prístroja umožňovalo jeho náhradu ďalším. Avšak náklady na tieto prístroje, najmä certifikované podľa ETSO, boli vysoké.

Súčasný Glass kokpit, ako Dynon Skyview HDX, Garmin G1000NXi, Aspen Avionics Evolution 2000 a Uavionics AV-30, predstavujú novú éru v avionike. Tieto systémy znižujú záťaž pilota a umožňujú ľahké čítanie informácií na jasne viditeľných displejoch. Zatiaľ čo Dynon Skyview HDX ponúka cenovo dostupnú alternatívu s piatimi digitálnymi komponentmi a cenou 7200€, Garmin G1000NXi je komplexnejším systémom s cenou 63000€, zahŕňajúcim všetky komunikačné, navigačné a bezpečnostné systémy.

Výber správneho avionického systému závisí od potrieb a finančných možností prevádzkovateľa. Systémy musia spĺňať štandardy pre hlasovú komunikáciu, charakteristiky odpovedača, a požiadavky pre navigačné zariadenia, ako je napríklad podpora ILS alebo GPS.

Celkovo, Glass kokpity predstavujú budúcnosť letectva, kde sa kombinuje spoľahlivosť analógových prístrojov s prehľadnosťou a efektívnosťou digitálnych systémov. Ich schopnosť znižovať váhu lietadla a zvýšiť bezpečnosť letu robí z nich atraktívnu voľbu pre prevádzkovateľov všetkých typov lietadiel.

2. Metodika a metódy skúmania

Táto metodika je založená na systematickom popise vývoja avionických systémov od ich počiatkov po súčasnosť, pričom sa zvláštny dôraz kladie na ich elektrické zdroje napájania. Pracuje sa s analýzou jednotlivých typov systémov, ich charakteristik a technologických inovácií, čím sa umožňuje detailné sledovanie ich vývoja a evolúcie.

Ďalším dôležitým prvkom tejto metodiky je porovnanie tradičných a moderných kokpitov. Tento prístup umožňuje nielen lepšie pochopenie rozdielov medzi týmito systémami, ale aj identifikáciu trendov a inovácií v oblasti avioniky. Porovnanie starých a nových kokpitov poskytuje kontext a perspektívu, ktoré sú kľúčové pre pochopenie súčasného stavu tejto technológie.

Záverečné zdôraznenie bezpečnosti a štandardov podčiarkuje dôležitosť týchto aspektov v letectve. Bezpečnosť je prioritou vo všetkých aspektoch letectva, a preto je dôležité venovať jej osobitnú pozornosť pri vývoji a implementácii avionických systémov a elektrických sústav.

Táto metodika umožňuje detailné a prehľadné zmapovanie vývoja avionických systémov a elektrických sústav používaných vo všeobecnom letectve. Je to ucelený prístup, ktorý umožňuje lepšie porozumieť technologickým trendom a inováciám v tejto dynamicky sa meniacej oblasti.

3. Výsledky

Taktiež sme identifikovali štyri základné typy avionických systémov a zdôraznili sme, že prevádzkové požiadavky sú kľúčové pri porovnávaní týchto systémov. Nezabudli sme ani na dôležitosť licencie Part 66-B2, ktorá je nevyhnutná pre údržbu avionických systémov.

Z kapitol o porovnaní napájania prístrojov v GA sme zistili, že elektrický systém musí byť vhodný a bezpečný pre použitie. Podrobne sme sa venovali aj problematike akumulátorov, batérií a generátorov, pričom sme zdôraznili dôležitosť ich spoľahlivosti a ochrany. Samozrejme, nespomenuli sme ističe a poistky, ktoré sú nevyhnutné pre ochranu elektrických obvodov, a tiež sme sa zaoberali káblami, ktoré musia byť odolné a správne izolované.

V kapitolách o analýze energetického systému lietadla sme sa venovali rozdielom medzi klasickou avionikou a Glass kokpitom, pričom sme zdôraznili ich náklady a vlastnosti. Ďalej sme sa zamerali na výhody a dostupnosť Glass kokpitov pre moderných pilotov a vykonali sme porovnanie medzi rôznymi produktmi avionických výrobcov. Nakoniec sme nezabudli spomenúť aj štandardy a požiadavky na avionické vybavenie, čo je kľúčové pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti lietania.

4. Záver

Po detailnom preskúmaní kapitol o avionike a porovnaní napájania prístrojov v GA, ako aj analýze energetického systému lietadla, sme získali dôležité poznatky o tejto kľúčovej oblasti letectva. Zistili sme, že avionika je zložitým, ale nevyhnutným aspektom moderných lietadiel, pričom jej vývoj priniesol výrazné výhody výkonnosti a spoľahlivosti, avšak aj so sebou niesol výzvy v podobe zvýšenej ceny a komplexity.

Pri porovnávaní rôznych typov avionických systémov sme si uvedomili, že ich prevádzkové požiadavky sú kritické pri rozhodovaní o ich výbere a implementácii. Zvláštnu pozornosť sme venovali licenciám a certifikáciám, najmä licencií Part 66-B2, ktorá je nevyhnutná pre údržbu avionických systémov.

V oblasti napájania prístrojov sme identifikovali dôležité bezpečnostné a funkčné požiadavky, ktoré musia byť splnené, aby bol elektrický systém spoľahlivý a bezpečný pre použitie. Zároveň sme zdôraznili význam ochrany batérií, generátorov a elektrických obvodov pre zachovanie bezpečného provozu lietadla.

Analýza energetického systému lietadla nám umožnila preskúmať rozdiely medzi klasickou avionikou a Glass kokpitom, pričom sme vyhodnotili ich náklady, vlastnosti a výhody. Zároveň sme sa zaoberali rôznymi produktmi avionických výrobcov a ich schopnosťou splniť štandardy a požiadavky letectva.

Celkovo sme získali hlboký prehľad o avionike a energetických systémoch lietadiel, čo nám poskytne základ pre ďalšie štúdium a vývoj v tejto oblasti. Je zrejmé, že neustály technologický pokrok a starostlivé plánovanie a implementácia sú nevyhnutné pre zabezpečenie bezpečného a efektívneho fungovania moderných lietadiel.

Pod'akovanie

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

Referencie

- EASA. AMC 20-22 Aeroplane Electrical Wiring Interconnection System Training Programme [online]. 2008 [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/onlinepublications/easy-access-rules-acceptable-means?page=1>
- EASA. Certification of Power Supply Systems for Portable Electronic Devices [online]. 2020 [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/cm-es-001_issue-02_-_final.pdf
- EASA. Certification Specifications for Normal-Category Aeroplanes CS23 Amendment 5 [online]. 2017 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/22283/en>
- EASA. Easy Access Rules for European Technical Standard Orders (CS-ETSO) (Amendment 14) [online]. 2018 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20CS-ETSO%20%28Amendment%2014%29.pdf>
- EASA. Easy Access Rules for European Technical Standard Orders (CS-ETSO) (Amendment 7) [online]. 2018 [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy%20Access%20Rules%20CS-ETSO%20%28Amendment%207%29.pdf>
- EASA. Easy Access Rules for Normal, Utility, Aerobatic and Commuter Category Aeroplanes (CS-23) (Initial issue) [online]. 2018 [cit. 2024-04-22]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS23%20Initial%20issue.pdf>



KONCEPT VRTUĽOVÉHO PROPULZORA PRE ŠIROKÝ ROZSAH RÝCHLOSTI LETU

Jakub Ivan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This thesis is focused on creation of propeller concept for wide range of flight speed. The part, which is discussed in the thesis is creation of design for blade motion mechanization, that can reach variable diameters. Apart of creation of this design, the thesis offers historic overview of propeller development throughout the years. Mechanization is designed in 3D environment. The software used for design is Autodesk Inventor. Design isn't calculated of given engine. The outcome of this thesis is to give perspective for constructors, whoever would want to construct this idea in reality, not 3D environment only. The design in 3D environment is working as it should and when motion is launched, blades are really changing the diameter. In the design study, radius difference between extended and reduced blades is more than 300 millimeters. Desing complies with the task.

Keywords

propeller, blade, diameter, difference, design, mechanization.

1. Úvod

Táto štúdia sa zameriava na vytvorenie 3D modelu konceptu vrtuľového propulzora, pre široký rozsah rýchlosti letu. Vytvorenie takéhoto mechanizmu by umožňoval využívať plný potenciál leteckých motorov, ktoré slúžia na vytvorenie mechanickej energie pre vrtuľu, ktorá túto energiu premieňa na kinetickú. Tým, že by sme využívali plný potenciál motorov, dokázali by sme dosahovať väčších maximálnych rýchlostí, ako pri použití konvenčnej vrtule.

Princíp spočíva v tom, že by sme menili priemer vrtule. Zabezpečili by sme to sklápaním alebo vyklápaním listov. Tým by sme dosiahli to, že by sme vedeli vrtuľu roztáčať na vyššie otáčky za minútu, ako pri jednom danom priemere bez toho, aby sa na hrotoch listov vytvorilo kritické Machové číslo. Hodnota rýchlosti, kedy hroty listov dosahujú M_{krit} sa vzťahuje na obvodovú rýchlosť otáčania vrtule.

Kritické machové číslo spôsobuje zmenu obtekania vzduchu vrtule. Menia sa fyzikálne zákony klasického obtekania. Ak hrot listu dosiahne hodnotu M_{krit} , vzduch, ktorý sa ma urýchliť na tomto mieste začína stagnovať až po bod, kedy vzduch začne byť stacionárny a nebude sa urýchľovať. Taktiež pri M_{krit} sa rapídne zväčšuje úroveň hluku. Ak by sme pri otáčkach, kedy vrtuľa dosahuje M_{krit} zmenšili jej priemer, zmenšili by sme obvodovú rýchlosť a tým pádom by sme dokázali roztáčať vrtuľu na vyššie otáčky.

Takáto inovácia vychádza z historických a aj teoretických poznatkov. Potreba výskumu takéhoto konceptu je prirodzená. Z histórie vieme, že vývoj vrtúľ závisel od požiadaviek či už vojenského, alebo civilného letectva. Bola potreba dosahovať také výkony, aby lietadlá, ktoré napríklad zväčšovali letecké súboje, mali navrch nad nepriateľskými lietadlami. Preto sa v štúdií musí spomenúť aj historický vývoj, aby sa pochopila potreba konceptu.

2. História

Prvá zmienka o vrtuli siaha až do roku 320 v našom letopočte, kedy sa z bambusu vytvorila hračka, ktorá mala vlastnosti podobné dnešným helikoptéram. Ak človek roztočil listy, hračka sa dokázala udržať aj so svojím telom vo vzduchu.

V období renesancie, v Taliansku, Leonardo Da Vinci nakreslil návrh propulzora, ktorej vrtuľa bola inšpirovaná Archimedovou skrutkou, ktorá slúžila na prečerpávanie vody z kanálov. Študentovi z Marylandskej Univerzity Austinovi Perthemu sa podarilo skonštruovať Da Vinciho návrh s tým, že skrutky mali obojstranné nábežné hrany. Tieto skrutky nainštaloval na UAS. Skrutky dokázali vytvoriť dostatočný vztlak, aby dostali konštrukciu UAS do vzduchu, a taktiež Perthe mal plnú kontrolu nad ovládaním UAS.

2.1. Obdobie pred prvou svetovou vojnou

V roku 1852, ako prvý krát použil vrtuľový propulzor na pohyb vo vzduchu Henri Giffard na vzducholodi. Vrtuľa mala priemer 3,35 metra a maximálna rýchlosť vzducholode bola 10 km/h.

Najväčší mílnik zaznamenali bratia Wrightovci v roku 1903, keď so svojim lietadlom Flyer uskutočnili prvý človekom kontrolovaný let na svete. Flyer mal dve vrtule, ktoré boli poháňané z jedného motora o sile 12 koní. Čarom tohto letu bola vrtuľa. Už pred tým ako vzlietol Flyer boli pokusy o prvý let riadený človekom. Napríklad Samuel Langley sa pokúšal vzlietnuť už pred Wrightovcami, avšak jeho vrtuľa nebola dobrej koncepcie a nedokázala vytvoriť takú kinetickú energiu, aby dokázala vyniesť lietadlo do vzduchu. Jeho vrtuľa sa skladala z dvoch tyčí, na ktorých koncoch bola látka do lopatkového tvaru. Wrightovci, na rozdiel od Langleyho, vytvorili pevnú vrtuľu, ktorej charakteristiky boli testované v ich vlastnom veternom tuneli. Vrtuľa bola ľahká a pevná. Bola z dreva. Jej tvar zabezpečoval, že dokázala vytvárať dostatočnú kinetickú energiu na let.

2.2. Obdobie prvej setovej vojny

V období prvej svetovej vojny bolo dbané na to, aby mali vrtule také skrútenie, hrúbku profilu a tvar profilu, aby bola ich efektívnosť a využitie motora čo najväčšia. Pevné vrtule sa vyrábali a navrhovali na výpočtové režimy podľa toho, na čo bolo dané lietadlo využívané. Takisto bol rozdiel v spojeneckých doktrínach a v doktrínach osi. Zatiaľ čo moci osi navrhovali vrtule tak, aby lietadlo dosahovalo väčšiu rýchlosť stúpania, spojenecké mocnosti navrhovali vrtuľu tak, aby lietadlo dosahovalo najväčšiu rýchlosť v horizontálnom lete. Tu vznikla potreba variability nastavenia vrtule počas letu. Takisto kvôli väčším výkonom z motorov, bola potreba o zmenu materiálu používaného na konštrukciu vrtúľ.

2.3. Medzivojnové obdobie

V medzivojnovom období sa letecká vrtuľa začala vyrábať aj z iných materiálov než drevo. Začali sa využívať materiály ako dural, kov a Micarta. Tým, že bola vrtuľa vyrábaná z pevnejších materiálov, dokázala preniesť viac otáčok bez toho, aby vznikli trhliny alebo aby sa rozpadla. Takisto nové materiály umožnili tvarovať vrtuľu do takej miery, že jej profil mohol byť oveľa tenší, viac skrútený a viac tvarovaný.

Okrem materiálu sa inovovala aj vo variabilite. Vznikli prvé vrtule s nastaviteľným uhlom listov na zemi. Bol to primitívny systém, kedy pilot pred letom, podľa toho aký chcel mať režim vrtule, si manuálne nastavil uhol listov. Tento typ vrtule malo lietadlo Spirit of Saint Louis, na ktorom Charles Lindbergh, ako prvý pilot preletel trasu New York – Paríž.

Ku začiatku druhej svetovej vojny vznikala potreba vylepšiť zmenu uhlu nastavenia listov a to tak, aby ho dokázal pilot meniť vo vzduchu. Najprv sa do lietadiel implementoval systém s manuálnym ovládaním, kedy pilot okrem nastavovania výkonu motora, nastavoval aj uhol nastavenia listov. Toto bolo veľmi nepraktické v boji, keďže sa pilot, okrem pilotovania, sústredil aj na správne nastavenie uhla listov, aby nepreťažil vrtuľu a aby dosiahol čo najväčšiu efektívnosť.

Postupne sa začal vyvíjať odstredivý regulátor na ovládanie synchronizácie otáčok motora s vrtuľou. Tento systém uľahčil prácu pilotom, lebo sa mohli plne sústrediť na pilotáž, alebo na letecký súboj.

2.4. Druhá svetová vojna a súčasnosť

Počas druhej svetovej vojny sa konštruktéri snažili navrhovať vrtule tak, aby boli variabilné pre rôzne fázy letu a aby dokázali prenášať mechanickú energiu z motora na vrtuľu. Pohonné jednotky v tej dobe však dosahovali také výkony, že samotná vrtuľa nestačila. Preto po druhej svetovej vojne vznikali napríklad protichodne otáčajúce sa vrtule, alebo vrtule, ktoré by mali efektívnosť aj pri vysokých otáčkach. Príkladom takého lietadla je McDonnell XF – 88B alebo XF – 84H. Koncept nadzvukových vrtúľ sa však neuchytil. Preto sme doteraz limitovaný maximálnymi otáčkami vrtule pod hranicu machového kritického čísla, ktoré vzniká na hrotach listov vrtule z dôvodu vysokých otáčok, ktoré majú za následok vysokú obvodovú rýchlosť vrtúľ.

3. Metodika a metódy skúmania

Pri tejto štúdií sa metodika rozdeľuje do troch častí. Teoretická časť, v ktorej sa porovnávajú už dané poznatky a z ktorej sa pri navrhovaní berie inšpirácia, dizajnová časť, kde sa sústava modeluje v programe Autodesk Inventor a návrhová časť, kde sa riešia konštrukčné otázky na danú sústavu.

3.1. Teoretická časť

Teoretická časť sa sústreďuje hlavne na zber dát a poznatkov. Informácie sa čerpajú z akademických zdrojov, webových stránok alebo kníh, ktoré korešpondujú s akademickými poznatkami. Zdroje, ktoré sú neoverené na stránkach sa ešte dodatočne overili v akademických literatúrach preto, aby neboli do štúdie spísané zavádzajúce informácie.

3.2. Dizajnová časť

Prostredie, v ktorej sa sústava a súčiastky modelovali je softvér Autodesk Inventor. Prenášala sa tam vízia, ktorá vznikla vďaka teoretickým poznatkom. Riešenia daných súčiastok a ich uložení boli navrhované tak, aby sa zaistila jednoduchosť celého mechanizmu. Čím komplikovanejšia sústava by vznikla, tým náročnejšie by to bolo udržiavať a financovať.

3.3. Návrhová časť

V návrhovej časti sa riešili konštrukčné otázky, zachovanie materiálu súčiastok, pohybové vlastnosti a dodatočné riešenia potencionálnych problémov, ktoré by sa pri konštruovaní objavili. Takisto sa spísali návrhy, či už na spájanie súčiastok alebo ich mazanie. Podstatnou otázkou, ktorou sa zaoberá návrhová časť je ovládanie celej sústavy.

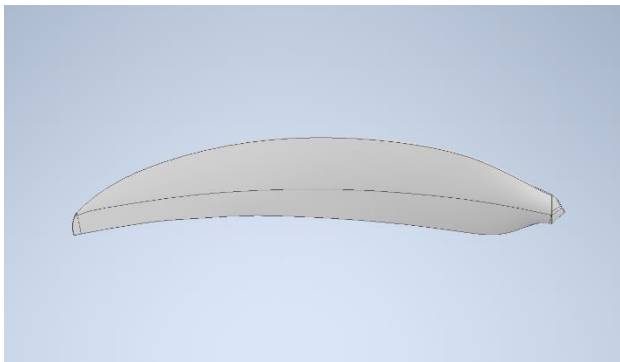
4. Výsledky

Výsledkom práce v tejto štúdií je návrh vrtuľového propulzora pre široké oblasti rýchlosti letu. Hlavná funkcia tohto konceptu bude, že vrtuľové listy budú meniť svoj priemer sklápaním a odklápaním. Koncept nebude dimenzovaný na daný motor, ale bude navrhnutý tak, aby vizualizácia bola inšpiráciou pre ľudí, ktorí by chceli tento koncept skonštruovať. Takisto sa vo výsledkoch zaoberáme funkciou súčiastok, riešeniu konštrukčných otázok a návrhov, ktoré by umožnili funkčnosť konceptu.

4.1. List vrtule

List vrtule je navrhnutý tak, aby pomáhal mechanizmu plniť jeho úlohu, a to zmenšovať svoj priemer. Tvar listu, kvôli využitiu vrtule pri vysokovýkonných lietadlách bude šabľovitý. Okrem menšej úrovne hluku, ktorý list s týmto tvarom dosahuje oproti konvenčnému listu, dokážu sa hroty listu, v jeho maximálnom priemere, udržiavať pri vysokých otáčkach v rýchlostnom rozmedzí pred Machovým kritickým číslom. Skrútenie listu a uhol pri jeho koreni nám zaručuje, že pri otočení sekundárneho ozubeného kolesa listy zmenia svoj priemer. Pokiaľ by bol list kolmý na sekundárne ozubené koleso,

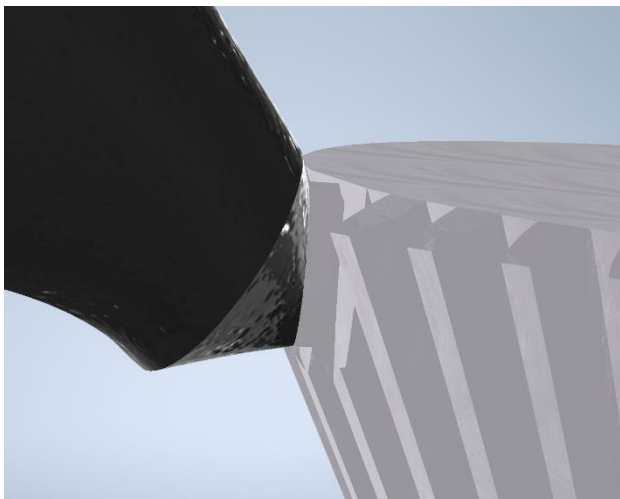
rotačným pohybom ozubeného kolesa by vrtuľa nezmenila priemer.



Obrázok 1. List vrtule

4.2. Koreň listu a spoj s ozubeným kolesom

Spojenie vrtule so sekundárnym kolesom by bolo zváraním, lepením alebo nitovaním. Výber metódy spájania by závisel od toho, aký materiál sa použije na list a ozubené koleso. Spoj je fixný a má odobrané všetky stupne voľnosti. Pozdĺžna os listu vrtule s pozdĺžnou osou ozubeného kolesa zvierajú uhol, ktorý by zabezpečoval zmenu priemeru vrtule pri otočení ozubeného kolesa.



Obrázok 2. Spoj listu s ozubeným kolesom

4.3. Sústava ozubených kolies

Sústava ozubených kolies sa skladá z primárneho ozubeného kolesa a sekundárných ozubených kolies. Počet sekundárných závisí od toho, koľko listov bude mať vrtuľa.

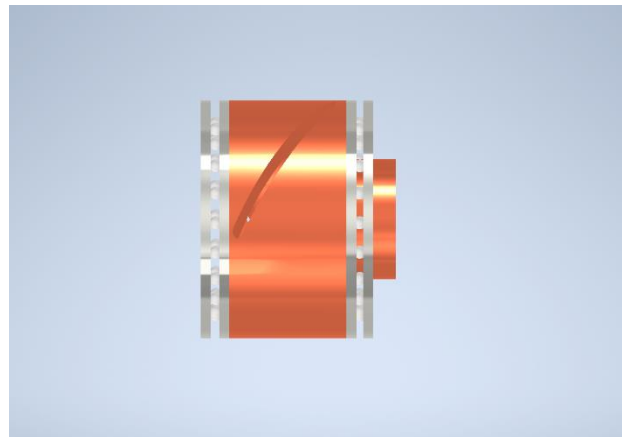
Primárne ozubené koleso prenáša pohyb z otočného mechanizmu tak, aby sa vďaka nemu hýbali sekundárne. Jeho plochou stranou, smerom ku nosu vrtuľového kužeľa, je spojené s otočným mechanizmom a na druhej strane má zúbky. Pomer zúbkov medzi primárnym a sekundárnym ozubeným kolesom je 2:1.

Na sekundárnom ozubenom kolese sa nachádza výrez s elipsoidným tvarom, kde sa spája list vrtule. V jeho útrobach sa nachádza radiálne ložisko, ktoré je vnútornou stranou napojené na tyčinku, ktorá spája sekundárne koleso s vrtuľovým nábojom

tak, aby bola zaistená jeho pozícia a bola umožnená rotácia listov vrtule.

4.4. Otočný mechanizmus

Otočný mechanizmus slúži na premenu posuvného pohybu piestu na rotačný pohyb. Je vložený medzi dve axiálne ložiská tak, aby držal pozíciu a len sa otáčal okolo svojej pozdĺžnej osi. Na jeho obvode sú vytvorené dve dráhy, do ktorých je vložená tyčinka, ktorá je vložená do piestu. Dráhy majú tvar taký, aby pri tlačení tyčinky o ich vnútorné steny, konal mechanizmus rotačný pohyb. Dráha celého posunu piestu musí byť prenesená na rotačný pohyb mechanizmu o 90 stupňov.



Obrázok 3. Uloženie otočného mechanizmu medzi axiálnymi ložiskami

4.5. Tyčinka

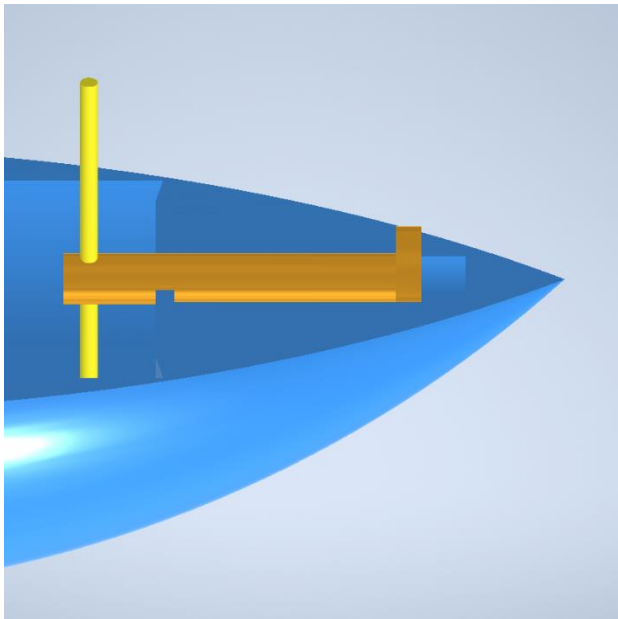
Tyčinka má za úlohu prenášať pohyb z piestu na otočný mechanizmus. V pieste je vložená tak, aby obidve jej časti boli dĺžkovo rovnaké. Konce tyčinky sú vložené do dráhy otočného mechanizmu, na ktorý tlačia. Musí byť vyrobená z pevného materiálu, aby dokázala zniesť všetky zaťaženia a odstredivé sily, ktoré na ňu pôsobia. Môže byť vyrobená napríklad z titánu alebo legovanej ocele.

4.6. Piest, jeho uloženie a pohon

Piest slúži na vykonávanie posuvného pohybu. Skladá sa z hlavičky, na ktoré strany tlačí olej pod takým tlakom, aby posunul piest dopredu alebo dozadu a z tela, na ktorom konci je vložená tyčinka. Je uložený v nose kužeľa.

V nose kužeľa je vytvorené duté valcové uloženie pre piest. Je hermeticky uzavreté, aby z neho nevytekal olej, ktorý sa v ňom nachádza. Olej do uloženia je privedený z motora pomocou tlakových čerpadiel. Jeho vedenie je vedené cez stred mechanizmu tak, aby samotné vedenie nerotovalo. Preto by boli okolo trubice rozmiestnené radiálne ložiská tak, aby sa celá vrtuľa otáčala, okrem stredovej časti.

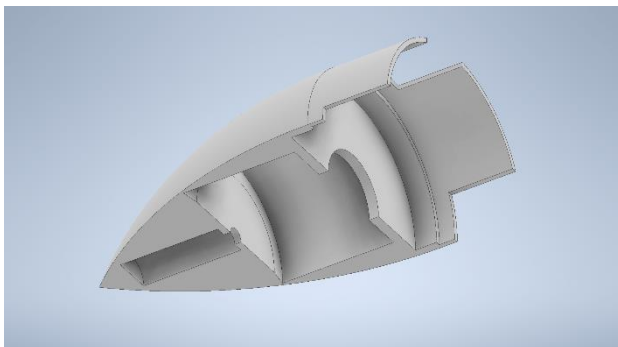
Pohon piestu by bol buď olejový alebo olejovo pružinový. Pri olejovej metóde by sa nachádzal olej na obidvoch stranách uloženia, ktoré rozdeľuje hlavička. Pri pružinovo-olejovej metóde by na jednej strane tlačila pružina na steny piestu, a z druhej strany by sa nachádzal olej.



Obrázok 4. Tyčinka, piest a ich uloženie vo vrtulovom kuželi

4.7. Vrtuľový kužel

Úloha vrtuľového kuželu je chrániť mechanizmus a umožniť uloženie mechanizmu tak, aby držal svoju polohu a nerozpadol sa. Jeho vnútorná časť sa skladá z uloženia pre piest a steny, ktorá oddeľuje mechanizmus od vrtuľového náboja. Na steny z vnútornej strany sú pripojené axiálne ložiská. V zadnej časti sú výrezy, ktoré slúžia na to, aby listy pri ich pohybe nezasahovali do materiálu kužela. Na zadnej časti je pripojená stena, na ktorej sa nachádza prírubka, ktorá je napojená na planétový prevod z motora, a zároveň tvorí vrtuľový náboj.



Obrázok 5. Vrtuľový kužel

4.8. Mazanie vo vrtuli

Pre správne fungovanie mechanizmu musíme zaistiť, aby sa súčiastky netreli o seba. To by spôsobilo rapidné opotrebovanie materiálu, neplynulé pohyby a tým stratu vlastností súčiastok. Preto sa snažíme o hydromechanické trenie medzi súčiastkami. Vrstva filmu by mala byť od 1 až po 5 mikrometrov. Sú tri metódy, ktoré môžeme využiť na mazanie. Olejová, plastická a kombinovaná.

Olejové mazanie by využívalo prefiltrovaný a schladený olej z motora. Olej by sa cez olejové vedenie dostal do vnútra mechanizmu, kde nárazmi o steny a odstredivými silami by sa

dostal medzi súčiastky. Nevýhoda je, že sa olej nemusí dostať medzi všetky súčiastky, alebo nevytvorí dostatočnú vrstvu filmu.

Plastické mazanie by zabezpečovalo vrstvu maziva medzi súčiastkami, ku ktorým sa je ťažko dostať. Máme na výber lítiové a vápnikové mazivo. Plastické mazanie by sa nanieslo manuálne medzi súčiastky. Po určitej dobe by sa súčiastky museli premasovať.

Najistejšou metódou je kombinované mazanie. Pri tejto metóde by sme zaistili kontinuálny prísun maziva do mechanizmu. Ak by sa mazivo nedostalo do každej časti, nahradilo by ju už predom aplikované plastické mazivo.

4.9. Ovládanie

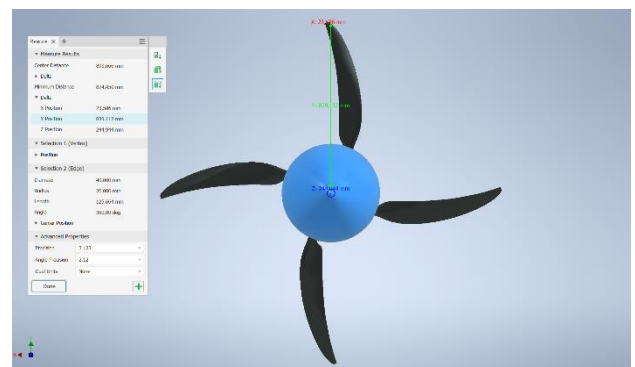
Ovládanie nastavenia priemeru vrtule by bolo automatizované. Využil by sa buď upravený odstredivý regulátor stálych otáčok, alebo systém FADEC. Pri automatizovanom ovládaní je snaha odbremeniť pilota od dodatočných výpočtov synchronizácie otáčok vrtule, s priemerom nastavenia listov.

Odstredivý regulátor stálych otáčok by bol navrhnutý tak, aby korešpondoval s dimenziami listov. Musel by sa nastaviť podľa toho, aký má vrtuľa maximálny priemer. Pri dosiahnutí otáčok, kedy sa hroty listov pohybujú v rozmedziach Machovho kritického čísla, by regulátor zareagoval tak, že by sa cez neho dodával olej do čerpadiel, ktoré by ho prepúšťali ku piestu v takom objeme, aby sa zmenil priemer vrtule k daným otáčkam tak, aby korešpondoval s otáčkami vrtule. V podstate by hroty listov nepresiahli kritické Machové číslo.

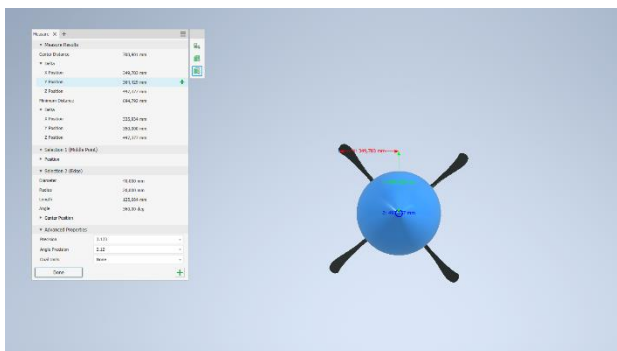
FADEC, teda elektronická riadiaca jednotka motora by prepočítavala dáta, ktoré by boli zbierané z prístrojov. Podľa toho by softvér vypočítal, na aký priemer sa potrebuje vrtuľa zmeniť vzhľadom na počet otáčok za minútu. Softvér by vydal signál už k čerpadlám, ktoré by začali podľa typu signálu prečerpávať olej do, alebo z uloženia piestu.

4.10. Dizajn a funkcia vrtule

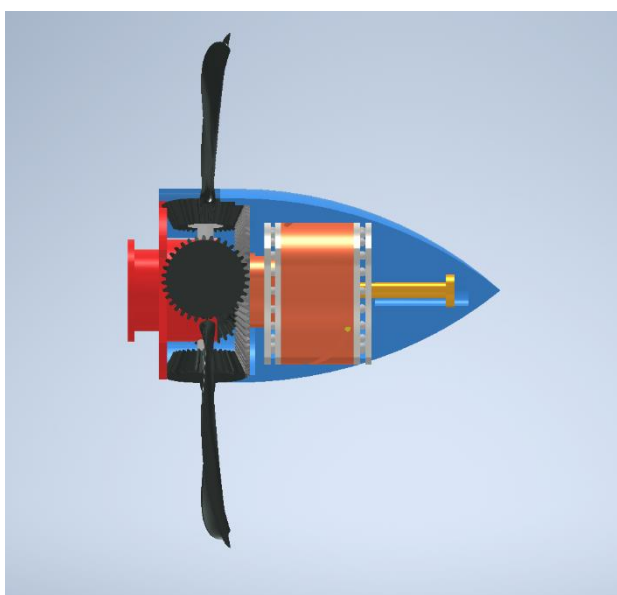
Ako bolo v predchádzajúcich kapitolách spomínané, vrtuľa má funkciu meniť svoj priemer. V tejto štúdií bude, pre lepšiu ukážku zmeny, znázornený iba maximálny a minimálny režim. Rozmer, ktorý pri ilustrácii sledujeme, je rozmer osi Y. Os Y udáva hodnotu polomeru od stredu vrtule po hrot listov vrtule. Zmena polomeru je v tomto prípade vyše 400 milimetrov. Takisto je tu vložená ilustrácia uloženia všetkých súčiastok vo vrtuľovom kuželi.



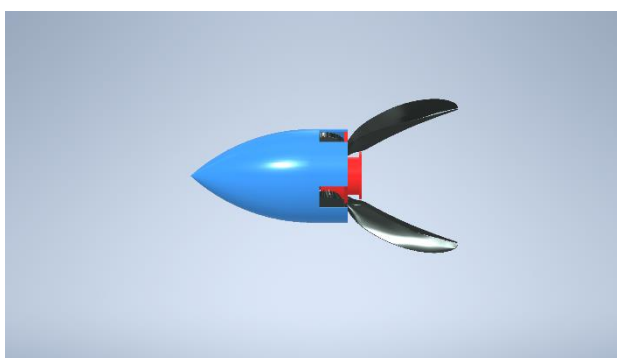
Obrázok 6. Dimenzie vrtule s roztiahnutými listami



Obrázok 7. Dimenzie vrtule so stiahnutými listami



Obrázok 8. Náhľad na celkovú sústavu vrtule



Obrázok 9. Bočný pohľad na vrtuľu so stiahnutými listami

5. Záver

V dizajnovej štúdií sme navrhli koncept, ktorý by mal byť základom a inšpiráciou pre konštruktérov, ktorí sa v budúcnosti budú tejto problematike venovať. Dimenzie tohto konceptu sú všeobecné, lebo sa nerátalo s daným lietadlom pre daný motor. Vizualizácia 3D modelu sa tvorila v Autodesk Inventor, ktorý je zatiaľ postačujúci softvér pre danú štúdiu.

V prevádzke by sa tento koncept mohol uplatniť na väčších civilných turbopropulzorných lietadlách, ako aj na vojenských

lietadlách. Bolo by zaistené plné využitie potenciálu motorov, ako aj skrátenie času letu z jednej destinácie do druhej, kvôli možnosti prepravy väčšími rýchlosťami, ako pri konvenčnej vrtuli. Príklad, na ktorom by sa tento koncept mohol uplatniť je lietadlo Alenia C – 27J Spartan. Tým, že návrh nie je komplikovaný, a tým by nebola ani samotná konštrukcia by sa zabezpečila finančná nenáročnosť na výrobu a údržbu danej vrtule.

Referencie

- [1] IVAN, Jakub. KONCEPT VRTUĽOVÉHO PROPULZORA PRE ŠIROKÝ ROZSAH RÝCHLOSTI LETU. Bakalárska práca, vedúci doc. Ing. Jozef Čerňan PhD. Univerzitné vydavateľstvo Žilinskej univerzity EDIS: Žilinská Univerzita, 2024.
- [2] HITCHENS, Frank E. Propeller Aerodynamics [online]. 1. Andrews UK Limited, 2015 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: https://www.everand.com/read/283098980/Propeller-Aerodynamics-The-History-Aerodynamics-Operation-of-Aircraft-Propellers#_search_menu_903766
- [3] KŘÍŽ, Jozef. Pohonná jednotka. 1. Žilina: EDIS - vydavateľstvo Žilinskej univerzity, 2008. ISBN 978 - 80 - 8070 - 872 - 6.
- [4] HITCHENS, Frank E. The Encyclopedia of Aerodynamics [online]. 1. Andrews UK Limited, 2015 [cit. 2024-04-17]. Dostupné z: <https://www.everand.com/read/352274298/The-Encyclopedia-of-Aerodynamics#>
- [5] RODRIGUEZ, Charles L. Aviation Maintenance Technician Certification Series - Propeller. 1. Tabernash: Aircraft technical book company, 2016. ISBN 978 - 1 - 941144 - 36 - 7.
- [6] BUGAJ, Martin. Aeromechanika 1. 1. Dolis, 2015. ISBN 978 - 80 - 970419 - 3 - 9.



PREVÁDZKOVÁ BEZPEČNOSŤ BEZPILOTNÝCH PROSTRIEDKOV S ELEKTRICKÝM POHONOM

Lukáš Kalafut
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandera
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The increasing adoption of electrically powered unmanned aerial vehicles (UAVs) has raised concerns about their operational safety, particularly with regards to battery technology. Lithium-based batteries, commonly used in UAVs, pose unique safety challenges due to their potential for thermal runaway, overcharging, and physical damage. The aim of this paper is to investigate the operational safety of electrically powered UAVs, with a particular focus on their battery systems. Theoretical part discusses basic types of UAVs, their electric propulsion system and the different types of batteries used in UAVs, in particular their advantages and disadvantages as well as their composition. Then, the paper also briefly explores and introduces BMS technology and its functions. In the last section of this paper, we look at the principles and practices of proper battery handling.

Keywords

UAVs, batteries, electric propulsion system, BMS

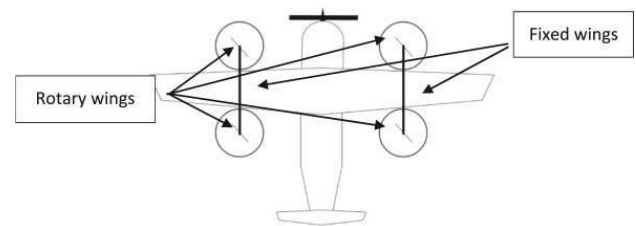
1. Úvod

Elektricky poháňané bezpilotné prostriedky sa vďaka svojej všestrannosti a možnostiam využitia stali nenahraditeľnými nástrojmi v rôznych odvetviach, od poľnohospodárstva až po záchranné služby. Hlavným prvkom efektívnej a bezpečnej prevádzky týchto bezpilotných prostriedkov sú ich batérie, najmä lítiové batérie, ktoré tieto bezpilotné prostriedky poháňajú. Používanie batérií v bezpilotných prostriedkoch však predstavuje osobitné bezpečnostné výzvy vrátane tepelného úniku, prebývania a skratov, ktoré môžu viesť k nebezpečným situáciám, ako sú požiare a výbuchy. Na riešenie týchto výziev a zvýšenie prevádzkovej bezpečnosti sa stala kľúčovou integrácia pokročilých systémov riadenia batérií (BMS) do konštrukcií bezpilotných prostriedkov.

2. Typy UAV

UAV možno rozdeliť na tri základné typy – s pevnými nosnými plochami, s rotorovými nosnými plochami alebo ich kombinácia. Bepilotné prostriedky s pevnými nosnými plochami v porovnaní s rotorovými variantmi majú oveľa jednoduchšiu konštrukciu, čo uľahčuje ich údržbu a zefektívňuje aerodynamické vlastnosti. V dôsledku toho sa znižujú prevádzkové náklady a predlžuje sa čas ich letu. Nevýhodou tohto typu však je, že na vzlet a pristátie potrebuje vzletovú dráhu - nedokáže sa vznášať ako typ s rotorovými nosnými plochami. Takisto sú väčšie a objemnejšie ako typ s rotorovými nosnými plochami. UAV s rotorovými nosnými plochami sú na druhú stranu bežnejším typom, pretože môžu vzlietnuť a pristáť vertikálne, čím odpadá potreba pristávacej dráhy. Môžu sa tiež vznášať a sú veľmi obratné, takže sú ideálne tam, kde sa vyžaduje presnejšie manévrovanie s daným prostriedkom. Avšak, tieto druhy bezpilotných prostriedkov si vyžadujú zložitejšiu údržbu kvôli ich komplexným mechanickým a elektronickým požiadavkám. Posledným typom je tzv. Hybrid. Tento typ s kombinovanými nosnými plochami kombinuje to

najlepšie z oboch predošlých typov – manévrovateľnosť a stabilitu z rotorového typu a dlhý dolet z typu s pevnými nosnými plochami. [1]



Obrázok 1. Hybrid

2.1. Elektrický pohonný systém pre UAV

Elektrický pohonný systém v bezpilotných prostriedkoch zohráva kľúčovú úlohu pri premene elektrickej energie na mechanickú, ktorá umožňuje let. Tento systém zvyčajne pozostáva z komponentov, ako sú elektromotory, zdroje energie (napríklad batérie, palivové články, solárne panely), elektronické regulátory otáčok a systémy riadenia energie. V stručnosti si zhrnieme jeho výhody a nevýhody.

Výhody elektrického pohonného systému: [2]

- šetrnosť k životnému prostrediu,
- konštrukčná univerzálnosť,
- väčšie množstvo zdrojov energie,
- minimálny hluk.

Nevýhody elektrického pohonného systému: [2]

- vysoké náklady,
- nedostatočná prispôbivosť prostrediu.

2.1.1. Batérie

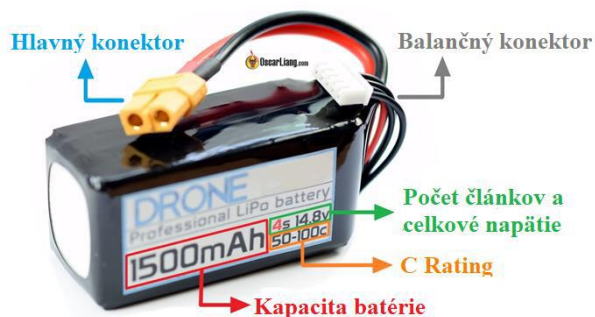
Batérie v bezpilotných prostriedkoch slúžia ako primárny zdroj energie, pričom poskytujú energiu potrebnú na pohon a preávdzku. Sú definované mernou hustotou výkonu a energetickou hustotou, čo sú dva kľúčové parametre batérií.

Hustota energie alebo energetická hustota sa vzťahuje na množstvo energie, ktoré možno uskladniť v danom objeme alebo hmotnosti batérie, zvyčajne sa meria vo wattodinách na liter (Wh/L) alebo vo wattodinách na kilogram (Wh/kg). Vyššia hustota energie znamená, že batéria dokáže uskladniť viac energie, čo je dôležité pre prípady, kde sú priestor a hmotnosť obmedzujúcimi faktormi, napríklad v bezpilotných prostriedkoch, kde je rozhodujúca maximalizácia času letu. [3]

Na druhej strane, *merná hustota výkonu* sa vzťahuje na rýchlosť, akou možno dodať alebo získať energiu z batérie, meranú vo wattoch na liter (W/L) alebo wattoch na kilogram (W/kg). Vyššia merná hustota výkonu je rozhodujúca pre prípady, ktoré si vyžadujú rýchle dodávky energie, ako napríklad v bezpilotných prostriedkoch počas zrýchľovania alebo manévrov. [3]

Kľúčové špecifikácie batérií: [4]

- kapacita - kapacita batérie UAV sa vzťahuje na množstvo elektrickej energie, ktorú batéria dokáže uskladniť a dodať, zvyčajne sa meria v miliampérhodinách (mAh) alebo ampérhodinách (Ah). Akumulátor s vyššou kapacitou dokáže uskladniť viac energie, čo umožňuje dlhšiu prevádzku dronu na jedno nabitie. Konkrétna potrebná kapacita závisí od konštrukcie, veľkosti, hmotnosti a zamýšľaného použitia dronu,
- napätie - napätie batérie je rozhodujúce pre výkon dronu. Batérie s vyšším napätím roztáčajú motor pri vyšších otáčkach a bývajú účinnejšie, ale aj ťažšie.
- rýchlosť vybíjania (C Rating) - rýchlosť vybíjania, známa aj ako C Rating, udáva maximálny prúd, ktorý môže batéria dodávať bez toho, aby sa poškodila. Vyšší C Rating ponúka lepší výkon a umožňuje motorom produkovať maximálny výkon pre dron v rozumnom a bezpečnom rozsahu,
- počet článkov - počet článkov v batériách je uvádzaný napríklad ako 4S1P alebo len 4S. Číselné označenie uvádza počet článkov a označenie písmenom uvádza či sú zapojené do série (S) alebo paralelne (P).



Obrázok 2. Špecifikácie batérie

V bezpilotných prostriedkoch sa používajú rôzne typy batérií, pričom každá z nich má svoje výhody a nevýhody. Patria medzi

ne napríklad: Olovené (Lead-acid), Nikel-Kadmiové (NiCd), Nikel-Metal Hydridové (NiMH), Lítium-polymérové (LiPo) a Lítium-iónové (Li-ion). Najrozšírenejšími batériami používanými v bezpilotných prostriedkoch sú v súčasnosti LiPo a Li-ion.

Nikel-Kadmiové batérie (NiCd)

V nikel-kadmiovej batérii (NiCd) sa ako kladná elektróda (anóda) používa hydroxid nikelnatý a kadmium ako záporná elektróda (katóda). Elektrolytom je hydroxid draselný. Medzi dobíjateľnými batériami je NiCd obľúbenou voľbou, ale obsahuje toxické kovy. NiCd batérie sa vo všeobecnosti používajú tam, kde je dlhá životnosť a vysoká rýchlosť vybíjania. [5]

Výhody NiCd batérií: [6]

- poskytujú vysoký výstupný prúd,
- relatívne tolerantné voči prebíjaniu,
- dlhá životnosť,
- odolnosť.

Nevýhody NiCd batérií: [6]

- pamäťový efekt, pri ktorom batéria postupne stráca kapacitu, ak sa opakovane nabíja pred úplným vybitím,
- obsahujú materiály škodlivé pre životné prostredie, ako je kadmium, čo si vyžaduje osobitné zaobchádzanie a likvidáciu.

Nikel-Metal Hydridové batérie (NiMH)

V Nikel-Metal Hydridovej batérii (NiMH) sa namiesto kadmia používa na zápornej elektróde (katóde) zliatina absorbujúca vodík. Kladnú elektródu (anódu) tvorí rovnako ako v NiCd článkoch hydroxid nikelnatý. NiMH má vysokú energetickú hustotu a používa kovy šetrné k životnému prostrediu. Batéria NiMH ponúka až o 40 % vyššiu energetickú hustotu v porovnaní s NiCd. NiMH batérie začali postupne nahrádzať NiCd batérie. Bolo to spôsobené obavami o životné prostredie, ktoré sa týkajú likvidácie použitých batérií, ako aj z dôvodu vyššej hustoty energie. [5]

Výhody NiMH batérií: [6]

- vyššia kapacita v porovnaní s NiCd batériami, poskytuje približne o 30 % vyššiu kapacitu,
- menej náchylné na pamäťový efekt ako NiCd batérie,
- šetrnosť k životnému prostrediu s menším množstvom toxických kovov

Nevýhody NiMH batérií: [6]

- vysoká miera samovoľného vybíjania
- citlivosť na extrémne teploty

Lítium-iónové batérie (Li-ion)

Lítium-iónová batéria je dobíjateľná batéria, ktorú možno viacnásobne nabíjať ako zdroj energie pre elektronické

zariadenia a elektrické prostriedky. Zvyčajne používajú grafitovú anódu a katódu z kobaltátu lítneho (LiCoO₂) alebo z manganistanu lítneho (LiMn₂O₄). Elektrolytom je lítiová soľ v organickom rozpúšťadle. Všetky tieto materiály sú relatívne šetrné k životnému prostrediu.

Výhody Li-ion batérií: [7]

- dlhá životnosť,
- vysoká energetická hustota,
- nemajú pamäťový efekt,
- malá hmotnosť.

Nevýhody Li-ion batérií: [7]

- citlivosť na extrémne teploty,
- cena v porovnaní s ostatnými batériami.

Lítium-polymérové batérie (LiPo)

LiPo batéria podobne ako Li-ion používa katódu na báze lítia (LiCoO₂ alebo LiMn₂O₄) a grafitovú anódu. Elektródy medzi sebou sú oddelené polymérovým elektrolytom. Všetky LiPo batérie používajú ako elektrolyt gélový polymér s vysokou vodivosťou.

Výhody LiPo batérií: [8]

- vysoká energetická hustota,
- nízka schopnosť samovoľného vybíjania,
- hmotnosť,
- flexibilita - akumulátory LiPo sa dajú vyrobiť v rôznych tvaroch a veľkostiach,
- pri svojej veľkosti majú pomerne veľkú kapacitu,
- nemajú pamäťový efekt.

Nevýhody LiPo batérií: [8]

- kratšia životnosť,
- sú citlivé na podmienky nabíjania a v prípade prebitia môžu viesť k tepelnému vyčerpaniu, ktoré môže spôsobiť požiar alebo iné bezpečnostné riziká,
- citlivosť na extrémne teploty,
- cena.

3. Systém riadenia batérie (BMS)

Systém riadenia batérie (BMS) v bezpilotných prostriedkoch zohráva kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní bezpečnej a efektívnej prevádzky UAV. Systém BMS je dôležitý komponent, ktorý monitoruje a kontroluje stav nabitia, zdravotný stav a ďalšie parametre batérie, aby sa zabránilo jej prebíjaniu, nadmernému vybíjaniu a prehriatiu. BMS tiež pomáha predĺžiť životnosť batérie optimalizáciou jej používania a predchádzaním hlbokému vybitiu. [9]

BMS v UAV je zvyčajne založený na algoritmoch strojového učenia, ktoré predpovedajú stav nabitia a zdravotný stav batérie na základe napätia a prúdu batérie, ako aj teploty okolia. To umožňuje monitorovať a kontrolovať výkon batérie v reálnom čase, čo umožňuje bezpečnú a efektívnu prevádzku. [9]

Systém BMS zahŕňa aj funkcie, ako napríklad: [9]

- monitorovanie napätia a prúdu,
- monitorovanie teploty,
- odhad stavu nabitia a zdravotného stavu,
- ochrana proti nadmernému nabitiu a vybitiu,
- tepelné riadenie,
- detekcia a hlásenie porúch.

Systém BMS je zvyčajne integrovaný so systémom riadenia letu UAV a môže pilotovi operátorovi poskytovať údaje v reálnom čase, čo im umožňuje prijímať informované rozhodnutia o prevádzke UAV.

4. Zásady a postupy správneho zaobchádzania s batériami

Ako už bolo v tejto práci zmienené, na pohon UAV sa najčastejšie používajú lítiové batérie, ktorých výhody ale aj nevýhody sme si predstavili. Pri práci s nimi postupujeme podľa istých postupov. Napríklad, skladujeme ich na chladnom a suchom mieste mimo horľavých materiálov a zabezpečíme, aby neboli fyzicky poškodené. Vykonávame pravidelné kontroly s cieľom zistiť, či sa na batérii nevyskytujú známky opotrebovania, poškodenia alebo nafúknutia. Používame len kompatibilné nabíjačky schválené výrobcom a dodržiavame pokyny stanovené výrobcom pre nabíjacie cykly a postupy. Vyhýbame sa extrémnym teplotám počas skladovania a prevádzky, aby sa zabránilo tepelnému úniku, a tým pádom prípadnému vzniku požiaru. Batérie nikdy nenechávame bez dozoru počas nabíjania. Takisto sa snažíme vyhýbať prebíjaniu a nedostatočnému nabíjaniu. Pri skladovaní a nabíjaní využívajú tzv. LiPo safe bags alebo oceľové boxy ako napr. BAT-SAFE box, aby sa predišlo prípadným problémom. [10]

5. Záver

Na záver možno konštatovať, že prevádzková bezpečnosť bezpilotných prostriedkov s elektrickým pohonom týkajúca sa hlavne ich batérií je kritickým aspektom, ktorý si vyžaduje dôkladnú pozornosť a neustále zlepšovanie. Pochopením obmedzení, potenciálnych rizík spojených s batériami UAV a správnym zaobchádzaním s nimi môžeme pripraviť pôdu pre zvýšenie bezpečnosti v tomto smere.

Referencie

- [1] TOWNSEND, A.; JIYA, I.N.; MARTINSON. Ch.; BESSARABOV D a GOUWS R. (2020). A comprehensive review of energy sources for unmanned aerial vehicles, their shortfalls and opportunities for improvements. [Online]. Dostupné na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7672221/#bib16>

- [2] CHUNHUA, L.; ZHANG, B.; SONG, Z. a ZHAO, F. (2022). Overview of Propulsion Systems for Unmanned Aerial Vehicles. [Online]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/2/455>
- [3] POLINOVEL. (bez dáta). [www.polinovelgroup,“ Energy Density vs Power Density: What’s Their Differences?](http://www.polinovelgroup.com/energy-density-vs-power-density-differences/) [Online]. Dostupné na: <https://www.polinovelgroup.com/energy-density-vs-power-density-differences/>
- [4] LIANG, Oscar. (2023). Using LiPo Batteries for FPV Drones: A Beginner’s Guide with Top Product Recommendations. [Online]. Dostupné na: <https://oscarliang.com/lipo-battery-guide/#Cell-Count>
- [5] GERIN FAHLSTROM, P. a JAMES GLEASON, T. (2012). Introduction to UAV Systems. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [6] ELECTRICITY – MAGNETISM. (bez dáta). www.electricity-magnetism.org, [Online]. Dostupné na: <https://www.electricity-magnetism.org/electric-battery/advantages-and-disadvantages-of-nickel-cadmium-batteries/>
- [7] BLACKRIDGE (2024). „www.blackridgeresearch.com,“ What is a Lithium-ion Battery? What are the Types of Lithium-ion Batteries? [Online]. Dostupné na: <https://www.blackridgeresearch.com/blog/what-is-a-lithium-ion-battery-what-are-the-types-of-lithium-ion-battery-chemistries#what-is-a-lithium-ion-battery?>
- [8] LESLEY, James. (bez dáta). Which Is Better Lipo Or Li Ion Battery For Drone? [Online]. Dostupné na: <https://dronesurveyservices.com/lipo-or-li-ion-battery-for-drone/>
- [9] JIOA, Shiqin; ZHANG, Guiyang; ZHOU, Mei a LI, Guoqi. (2023). A Comprehensive Review of Research Hotspots on Battery Management Systems for UAVs. [Online]. Dostupné na: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10208231/references#references>
- [10] VOLATUS DRONES (2024). „www.volatusdrones.ca,“ Battery Safety Tips for Drone Owners. [Online]. Dostupné na: <https://volatusdrones.ca/blogs/news/battery-safety-tips-for-drone-owners>



ANALÝZA VYUŽITIA POZEMNÝCH RÁDIONAVIGAČNÝCH ZARIADENÍ V CIVILNOM LETECTVE

Leo Kontra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Frederik Chodelka
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The goal of this article is to showcase the different possibilities and ways to execute instrument navigation in civil aviation. Two general types of navigational aids and systems are presented, which are, on one hand the conventional, ground-based radionavigational aids and on the other hand, the more modern, satellite based systems. Differences between them are explained together with their advantages and disadvantages. The current situation in this area is analysed, especially in Slovakia with its surrounding countries, and the changes in procedures that occur in time are noted. The next way of evolution in the future is also indicated based on commenced processes as well as the current legislation concerning this area. In the end readers of this article are given a brief introduction into this problematic containing the current trends of evolution.

Keywords

Radionavigation, aviation, conventional, PBN

1. Úvod

Už od počiatku letectva na začiatku dvadsiateho storočia, odkedy letectvo, či už civilné, alebo vojenské, nepredstavovalo iba schopnosť vzlietnuť so strojom a následne s ním aj bezpečne pristáť, ale aj preletieť od daného bodu A do bodu B, bolo potrebné nájsť spôsoby, ako tak urobiť. Piloti museli mať aspoň základné znalosti navigácie, bez ktorých by navigačné lety neboli možné. Pre uľahčenie takejto navigácie aj v zhoršených poveternostných podmienkach sa postupne zavádzali rôzne zariadenia a systémy, o ktorých bude v tomto článku napísané viac.

Postupom času s vývojom novších a modernejších technológií, ako aj s rozmachom letectva niektoré staršie pozemné rádionavigačné zariadenia prestali byť dostatočne presné a efektívne. Z toho dôvodu sa začal rozširovať úplne nový typ navigačných systémov, založených na satelitných systémoch, ktoré v niektorých oblastiach čiastočne, alebo úplne nahradili pôvodné technológie.

2. Pozemné rádionavigačné zariadenia

V počiatkoch letectva fungovala iba navigácia podľa viditeľnosti, preto bola nespoľahlivá. Pre prekonanie tohto problému boli postupne vyvíjané pozemné zariadenia ako NDB, VOR, DME, ILS a ďalšie, ktoré umožňujú lety aj za podmienok IMC.

2.1. Nesmerový maják (NDB)

NDB je najstarší pozemný vysielač, ktorý vysiela rádiové vlny vo všetkých smeroch v pásmach LF a MF. Na palubách lietadiel musí byť nainštalované zariadenie ADF, ktoré tieto vlny spracováva a zobrazí na prístroji RBI, alebo RMI relatívny smerník k NDB majáku. [1][2]

Existujú dva typy týchto NDB majákov, prvým z nich sú traťové. Tie majú väčší dosah, zvyčajne minimálne 50 NM, vytyčujú

letové trasy a slúžia hlavne na navigáciu počas letov v cestovnej hladine. Druhým typom sú miestne NDB, alebo aj „lokátory“, ktoré majú menší výkon a tým pádom aj menší dosah, približne 10 – 25 NM. Sú využívané pri nepresných NDB priblíženiach a ako polohové návěstidlá pri presných ILS priblíženiach.

S faktom, že sú NDB majáky najstaršie zariadenia svojho druhu súvisí aj fakt, že sú najmenej presné. Ich presnosť sa pohybuje v rozmedzí +/-5° a ovplyvňujú ju viaceré efekty. Tými sú statická elektrina, nočný efekt, horský efekt, alebo pobrežný lom. [1][2]

Mohlo by sa zdať, že vzhľadom na svoj vek už dnes tieto majáky nikde nenájdeme, no opak je pravdou a existujú oblasti, kde sú dokonca jediným zariadením poskytujúcim prístrojovú navigáciu.

2.2. Všesmerový maják (VOR)

Časom bolo potrebné zväčšiť presnosť a zmenšiť chyby, ktoré vznikajú s NDB majákmi. Preto v roku 1960 ICAO implementovalo rádiomaják VOR, ktorý mal slúžiť ako základný prostriedok na vytyčovanie letových ciest, ako aj prístrojových priblížení. Vo VHF pásme vysiela 360 radiálov QDR, ktoré sú rozmiestnené v rozstupoch jedného stupňa, aby tak vytvorili celú ružicu radiálov do všetkých smerov. Palubné zariadenie odmeria, na ktorom radiáli sa lietadlo nachádza a zobrazí túto informáciu na príslušnom prístroji. [2]

Poznáme viacero druhov VOR, ktoré však majú minimálne rozdiely. Sú nimi CVOR, TVOR, BVOR, DVOR, alebo testovacie VOT. Okrem toho môžu byť vytvorené aj ich kombináciou, alebo s inými zariadeniami, ako napr. veľmi časté VOR/DME. [1][2][3]

Najbežnejšou a najmarkantnejšou chybou VOR zariadení je kužeľ nespoľahlivej indikácie, ktorý sa nachádza nad zariadením. Ten je prítomný z dôvodu blízkosti medzi lietadlom

a zariadením, ako aj medzi vysielanými radiálmi. Jeho poloha bežne začína v uhle 70° - 80° od horizontu v bode zariadenia. [1]

2.3. Dial'komerný systém (DME)

Pre určenie polohy lietadla potrebujeme okrem smeru od, alebo ku zariadeniu, aj jeho vzdialenosť. Túto informáciu vieme získať zo zariadenia DME, ktorý udáva šikmú vzdialenosť medzi lietadlom a pozemnou stanicou. Spolu s iným rádionavigačným zariadením, prípadne aj druhou stanicou DME, vieme určiť presnú polohu lietadla.

DME pracuje v pásme UHF princípom sekundárneho radaru, teda vysielajú pulzy z dotazovača v lietadle pozemnej stanici, ktorá signál zmení a pošle naspäť. Na základe času ktorý ubehne, prijímač v lietadle vypočíta šikmú vzdialenosť a zobrazí ju na prístroji. [2]

Práve z dôvodu, že na určenie presnej polohy je okrem DME potrebné aj iné zariadenie, často sa tieto zariadenia umiestňujú na rovnaké miesto a okrem toho sa aj párujú ich frekvencie. Priame zadávanie UHF frekvencie DME je tak veľmi zriedkavé a piloti si na prístrojoch nastavujú iba frekvenciu smerového zariadenia, teda VOR alebo ILS. Tým sa automaticky naladí aj DME prijímač napriek tomu, že zariadenia fungujú v iných frekvenčných pásmach. [1]

Maximálna odchýlka DME býva 1,25%, alebo 0,25 NM, čo môžeme považovať za presné údaje. Treba však pamätať na to, že DME udáva šikmú vzdialenosť, teda rozdiel medzi vzdialenosťou po Zemi a indikáciou na DME sa zväčšuje s výškou. Palubné zariadenie DME udáva taktiež informáciu o rýchlosti lietadla po Zemi. Tá je však presná iba v prípade letu presne ku, alebo od pozemného zariadenia a zároveň pri väčšej vzdialenosti od neho. [1][2]

2.4. Instrument Landing System (ILS)

Najznámejší a najrozšírenejší systém pre presné priblíženie je ILS, vyvinutý v šesťdesiatych rokoch minulého storočia. Je to zatiaľ jediný systém, ktorý umožňuje automatické pristátie.

Skladá sa z viacerých častí, ktorými sú Localizer (LLZ) a Glide Path (GP), ktoré vykresľujú vodorovnú a zvislú rovinu priblíženia. Pre údaj o vzdialenosti od prahu dráhy ich dopĺňa systém DME, alebo tzv. „markre“, teda NDB lokátory vo funkcii polohových návěstídiel.

LLZ je rádiomaják umiestnený 300 m za koncom dráhy, ktorý vysielá vo VHF pásme dve rôzne modulácie hĺbky 90 Hz a 150 Hz vo vodorovnej rovine. Tie sú nasmerované do dvoch strán od stredovej osi. Palubný prijímač tak pri získaní silnejšieho signálu jednej modulácie vie, na ktorej strane od osi sa nachádza a zobrazí to na prístroji. [4]

GP vysielá zase vertikálnu rovinu v UHF pásme. Jeho anténa je umiestnená vedľa dráhy na úrovni bodu dotyku a modulácia jej signálu funguje na tom istom princípe, ako pri LLZ. Jej frekvencia je spárovaná s frekvenciou LLZ a štandardný uhol zostupu je 3°. Na rozdiel od LLZ nemôže byť použitý samostatne a pre svoju činnosť vždy potrebuje aj LLZ. [2]

Polohové návěstídlá pri ILS priblížení sú troch druhov, sú nimi, v poradí od najvzdialenejšieho po najbližšie, OM, MM a IM. Pri prelete nad nimi aktivujú v kabíne jedinečný zvukový a vizuálny

signál, ktorý posádke informuje o vzdialenosti od prahu dráhy, ktorú majú publikovanú v mapách. [5]

V závislosti od meteorologických podmienok, predovšetkým dohľadnosti, rozdeľujeme ILS priblíženia do troch kategórií. CAT I je štandardná kategória, ktorú má každé ILS priblíženie, na výšku rozhodnutia menej ako 200 ft je však potrebná kategória CAT II alebo CAT III, ktoré umožňujú aj automatické pristátia. Pre využitie týchto znížených minimí musia byť certifikované na danú kategóriu okrem samotného priblíženia aj posádka a lietadlá. [6]

2.5. Microwave Landing System (MLS)

MLS je, podobne ako ILS, systém umožňujúci presné prístrojové priblíženia. Bol vyvinutý v snahe nahradiť ILS, a tým pádom zbaviť sa jeho nedostatkov. Pracuje v pásme SHF, namiesto LLZ a GP pri ILS má azimut a eleváciu spolu s DME. Posádka si po koordinácii s ATC sama zvolí konečný kurz a uhol zostupu na dráhu. Tie sa môžu pohybovať až do rozdielu 40° s kurzom dráhy v prípade konečného kurzu a 0,9° – 20° v prípade uhlu zostupu. [7]

Napriek výhodám oproti ILS, teda väčším možnostiam konečného priblíženia a umožnenia využitia presného priblíženia aj v oblastiach, kde ILS nie je možné aplikovať – teda predovšetkým v horských oblastiach, sa MLS nerozšíril a jeho využitie je veľmi zriedkavé. Takisto nie je pravdepodobné jeho širšie rozšírenie v budúcnosti.

3. Satelitné navigačné systémy

Novším, a protipólovým typom rádionavigačných zariadení ku pozemným sú tie, ktoré sú založené na prenose dát a informácií cez umelé družice Zeme. Sú tvorené celkom rôznych systémov a pojmov, ktoré sa často zdajú byť totožné, a aj v praxi nezriedka zamieňané.

3.1. Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

GNSS je všeobecné pomenovanie satelitných systémov, ktoré slúžia na určenie polohy. Medzi najznámejšie sem patria GPS, GLONASS, Galileo alebo Beidou. Všetky slúžia na tú istú vec a fungujú na rovnakom princípe. Najpoužívanější je americký GPS.

GPS bol vyvinutý v sedemdesiatych rokoch minulého storočia, spočiatku na vojenské účely, od roku 1984 aj na civilné využitie. Systém určuje polohu na základe merania času a prerátania na vzdialenosť od satelitu. S údajmi od štyroch satelitov vieme trianguláciou určiť presnú polohu lietadla, alebo iného prijímača. [8]

Štruktúra GPS je zložená z troch segmentov, prvým z nich je kozmický. Ten tvoria satelity, ktorých je v súčasnosti 31 vo výške 20180 km nad Zemským povrchom. Pre určenie ich presnej polohy v každom okamihu je vytvorená trojrozmerná karteziánska sústava. Túto polohu, spolu z údajom z ich atómových hodín, vysielajú formou šumu PRN. [1][8]

Riadiaci segment má na starosti riadenie a kontrolu nad celým GPS systémom. Jeho hlavná riadiaca stanica sa nachádza v Colorado Springs a jej úlohou je spracovanie údajov a určovanie korekcií atómových hodín satelitov. Ďalej ho tvorí 24 monitorovacích staníc, ktoré komunikujú medzi sebou a so satelitmi a takisto slúžia na vývoj a testovanie GPS. [8]

Posledným segmentom je užívateľský, ktorý pozostáva zo všetkých užívateľov systému, teda inteligentné hodinky, mobilné telefóny, navigácie do auta, či profesionálne prijímače pre lodnú a leteckú dopravu. [2]

Na správne fungovanie GPS je spolu so súradnicovým systémom použitý model Zeme WGS-84, ktorý slúži ako databáza povrchu Zeme. Prijímače získavajú z riadiaceho segmentu almanachy zahŕňajúce informácie o satelitoch, ktoré využijú na správne určenie polohy. Po získaní PRN zo satelitu ho prijímač porovná s vlastne vytvoreným PRN a z tohto rozdielu zistí časový rozdiel. Ten prepočíta na pseudovzdialenosť, ktorú opraví o chybu hodín a získa tak presnú polohu vyjadrenú v zemepisných súradniciach a nadmorskej výške. [2]

Pre zvýšenie spoľahlivosti GPS boli vytvorené princípy DGPS, ktoré buď upozornia posádku o chybe v systéme, alebo ju vylúčia. [1]

Prvým typom DGPS je ABAS, ktorý spočíva vo využití jedného, alebo dvoch dodatočných satelitov, aby bolo možné, v prípade chybného satelitu, taký identifikovať a vylúčiť z merania. [1]

GBAS je systém stavaný na umožnenie presných priblížení na letiská. Zahŕňa pozemnú stanicu blízko dráhy, ktorej presná poloha je známa a nemenná. V nej sa nachádza GPS prijímač, ktorého údaj sa porovná s polohou stanice a tento rozdiel zašle lietadlu na priblížení, ktoré o tento rozdiel opraví svoju polohu. V budúcnosti by sa GBAS mohol využívať na priblíženia kategórie CAT III. [1]

SBAS funguje podobným princípom ako GBAS, akurát na väčšie vzdialenosti. Na prenos signálu využíva geostacionárne satelity, v Európe nimi sú satelity EGNOS. SBAS sa využíva pri RNP priblíženiach do minimálnej kategórie CAT I. [1]

3.2. Výkonnostná navigácia (PBN)

PBN zahŕňa špecifikácie RNAV a RNP a definuje jednotné požiadavky pre lietadlá, posádky, prevádzkovateľov a ANSP. Jej vlastnosti sú presnosť, integrita, kontinuita a dostupnosť, pričom každá je nevyhnutná. [9]

Priestorová navigácia RNAV umožňuje let lietadla v priestore aj mimo definovaných konvenčných letových tratí za pomoci signálu z VOR/DME, DME/DME, GNSS, INS, alebo IRS. [2] Body tak môžu byť definované aj zemepisnými súradnicami, čo znamená, že ich môže byť nekonečné množstvo. RNAV taktiež umožňuje okrem fly-over bodov aj fly-by body, pri ktorých točenie začína v predstihu a prebieha tak plynulo.

Na rozdiel od konvenčnej navigácie, kde sa odchýlka od trate udáva uhlovo, pri RNAV je uvedená vzdialenosť v NM. Podľa odchýlky zároveň delíme konkrétne špecifikácie RNAV 10, 5, 2 a 1. Dané číslo reprezentuje maximálnu odchýlku v NM, ktorú musí lietadlo dodržať počas 95% letu. [10]

Jediným rozdielom medzi RNAV a RNP je, že RNP obsahuje požiadavku na „on-board performance monitoring and alerting“, teda systém, ktorý upozorní posádku v prípade prekročenia povolených odchýlky. [10]

Rovnako ako RNAV, aj RNP má špecifikácie fungujúce na rovnakom princípe RNP 4, 2, 1, 0,3 a A-RNP. RNP 10 sa môže zdať ako špecifikácia RNP, je to však to isté čo RNAV 10. [11]

RNP je možné využiť aj na presné, alebo nepresné priblíženia do kategórie CAT I, rozdelené do troch kategórií. LNAV je 2D priblíženie, LNAV/VNAV využíva na vykreslenie zostupovej roviny barometrický výškomer a LPV ju vykreslí geometricky pomocou systému SBAS. Špeciálnou kategóriou RNP priblížení je RNP AR, na využitie ktorého je potrebná špeciálna certifikácia prevádzkovateľa, lietadla aj posádky. Vyskytujú sa najmä v oblastiach s vysokým okolitým terénom, alebo pri prevádzke paralelných dráh. [11]

3.3. Free Route Airspace (FRA)

FRA je koncept vzdušného priestoru, v ktorom plánovanie letov nie je závislé na publikovaných letových tratiach. Let vedie priamymi úsekmi medzi bodmi a tým sa znižuje vzdialenosť, čas, potrebné palivo a vypustené emisie. [12]

3.4. Nevýhody satelitných systémov

Zrejme najväčším problémom satelitných systémov je ich možné rušenie, ktoré môže byť neúmyselné, ale aj zámerné. To zámerné býva väčšinou z politických dôvodov a odohráva sa najmä v oblastiach postihnutých vojenskými konfliktmi. Nie je otázka či vypadne GPS, ale kedy. Preto musia byť posádky na takúto udalosť pripravené.

Jamming je najčastejší typ rušenia, kvôli ktorému nie je prijímač schopný prijať signál zo satelitov. To sa stane z dôvodu, že rušička umiestnená neďaleko prijímača vysiela signál na rovnakej, alebo podobnej frekvencii, ako GNSS signály zo satelitov. Tento čin je síce trestný, no takéto rušičky sú bežne dostupné širokej verejnosti za lacné peniaze. [13]

Druhý typ rušenia je spoofing, ktorý už predstavuje väčšiu hrozbu. Rušivé signály totiž neznemožnia prijímaču určiť svoju polohu, no GNSS signály pozmenia tak, že svoju polohu vyhodnotí nesprávne. Posádke tak nemusí nič o chybe napovedať a nevedomky sa môže nachádzať na míle ďaleko od svojej plánovanej trasy. Na rozdiel od jammingu, pre vytvorenie spoofingu sa vyžaduje profesionálna znalosť a je tak vždy úmyselný. [13]

4. Súčasný stav

Vo všeobecnosti platí, že využitie typu rádionavigačných zariadení sa posúva od konvenčných pozemných po tie satelitné. Niekde je tento prechod už viac-menej ukončený, niekde prebieha rýchlejšie, niekde pomalšie, a niekde ešte nezačal. V každom prípade smer vývoju v tejto problematike je pevne daný a iba veľmi zriedkavo sa stretne s opačným trendom.

4.1. Súčasný stav na Slovensku

V slovenskom spodnom vzdušnom priestore do FL245 sú publikované konvenčné a RNAV trate, podľa ktorých sa lety musia plánovať. Naopak v hornom vzdušnom priestore je Slovensko od roku 2021 súčasťou SEE FRA spolu s Českom, Maďarskom, Rumunskom, Moldavskom a Bulharskom. Zároveň má Slovensko zavedenú cezhraničnú prevádzku FRA s Baltic FRA, teda s Poľskom. Pre zabezpečenie RNAV boli v posledných rokoch inštalované DME pre využitie princípu DME/DME. [14]

Bratislavské letisko prechádza presunom z konvenčných postupov na PBN, v poslednom čase RNAV STAR nahradili všetky

konvenčné STAR a takisto už má publikované časť RNAV SID, pričom konvenčné SID zatiaľ zostávajú v prevádzke. Prístrojové dráhy, teda 22 a 31 sú obe vybavené NDB, RNP a ILS priblíženiami, v prípade dráhy 22 CAT I a v prípade dráhy 31 CAT III. [14]

Letisko v Košiciach má za koncom dráhy 01 VOR/DME KSC, na základe ktorého sú postavené konvenčné SID a STAR na obidve dráhy. Takisto pre obidve dráhy nájdeme aj RNAV SID a RNAV STAR. VOR/DME KSC je využité aj na priblíženie z oboch strán, takisto pre obe dráhy sú publikované RNP priblíženia. Poslednou možnosťou priblíženia je ILS na dráhu 01 do kategórie CAT II. Košické letisko je jediné riadené na Slovensku, ktoré nemá žiadne NDB priblíženie. [14]

V Piešťanoch máme trate SID konvenčné aj RNAV, no trate STAR iba typu RNAV. Prístrojové priblíženie je možné iba na dráhu 01, a to NDB, RNP a ILS CAT I. [14]

Konvenčné, aj RNAV trate SID na popradskom letisku začínajú z oboch smerov dráhy 09/27, zatiaľ čo konvenčné STAR smerujú iba k dráhe 27. RNAV STAR nájdeme pre oba smery, je to tým, že dostupné priblíženia sú RNP pre obe dráhy a NDB s ILS CAT I iba pre dráhu 27. Všetky tieto priblíženia majú uhol zostupu 3,5°. Napriek tomu, že sa v blízkosti osi dráhy nachádza VOR/DME PPD, nie je na letisku publikované žiadne VOR priblíženie. [14]

Posledným letiskom je Žilina, kde sa nachádzajú všetky druhy SID z oboch smerov dráhy. Prístrojová dráha na pristátie je iba 06, teda aj trate STAR, či už konvenčné, alebo RNAV smerujú ku nej. Dostupné priblíženia sú NDB, RNP a ILS CAT I s uhlom zostupu 3,5°, tak ako v Poprade. [14]

4.2. Súčasný stav v Česku

Ako už bolo spomenuté, Česko, rovnako ako Slovensko patrí do SEE FRA, teda jeho horný vzdušný priestor od FL95 využíva princíp FRA. Pod ním, v spodnom vzdušnom priestore sa využívajú lety po tratiach, avšak už tu nenájdeme žiadne konvenčné trate, všetky sú typu RNAV. Okrem preletov v rámci SEE FRA nemá Česko zatiaľ inú cezhraničnú prevádzku FRA, no takáto prevádzka má ešte v prvej polovici roka 2024 vzniknúť s Baltic FRA, teda v tomto prípade na hranici s Poľskom. Na letiskách v Česku už nenájdeme konvenčný postup SID alebo STAR, všetky využívajú princíp RNAV. Takisto na každom letisku je publikované RNP priblíženie aspoň na jednu dráhu. [15][16]

4.3. Súčasný stav v Rakúsku

Rakúsky vzdušný priestor je súčasťou SECSI FRA spolu s vzdušnými priestormi Slovinska, Chorvátska, Bosny a Hercegoviny, Srbska s Čiernou Horou, Albánska a Macedónska. FRA v Rakúsku sa teoreticky uplatňuje od povrchu Zeme, prakticky od minimálnej radarovej výšky, ktorá je minimálne 3000 ft. Okrem SECSI FRA je zavedená plnohodnotná cezhraničná spolupráca aj s FRAIT, teda talianskym FRA a, zatiaľ s obmedzením časovým, ako aj výškovým, s Nemeckom. Napriek veľkému využitiu FRA nájdeme v Rakúsku dve konvenčné trate vytýčené zariadeniami VOR a NDB od Klagenfurtu cez viedenskú oblasť po Salzburg. Príletové trate STAR sú na letiskách v Rakúsku iba typu RNAV, naopak odletové SID sa zachovávajú aj konvenčné. Väčšina letísk je vybavená priblíženiami ILS vyššej kategórie, ako aj RNP priblíženiami. [17][18]

4.4. Súčasný stav v Poľsku

Od FL95 a vyššie je poľský vzdušný priestor súčasťou Baltic FRA spolu s Litvou. Cezhraničná prevádzka funguje na hranici so Slovenskom a okrem toho existujú plány na spojenie Baltic FRA so SEE FRA pre vytvorenie jedného veľkého FRA priestoru od Bulharska až po Litvu. Napriek hustej sieti VOR zariadení nenájdeme v Poľsku žiadne konvenčné trate, spodný vzdušný priestor sa tak spolieha na RNAV trate. Rovnako na letiskách sú konvenčné SID a STAR skôr výnimkou a takisto sú letiská dobre vybavené priblíženiami ILS, VOR alebo RNP. Posledným letiskom, kde je v Poľsku ešte NDB priblíženie je Radom. [19][20]

4.5. Súčasný stav v Maďarsku

Maďarská časť SEE FRA sa uplatňuje od výšky 9500 ft, no princíp FRA sa v Maďarsku uplatňuje aj pod touto hranicou. Od Zeme po túto hranicu je totiž mimo TMA vzdušný priestor triedy G, kde nie sú publikované letové trate a od výšky 4000 ft, ktorá je minimálne pre lety IFR tak funguje FRA. Z tohto dôvodu zároveň hlavne na menších letiskách neexistujú trate SID a STAR, keďže si posádky môžu let naplánovať priamo do IAF. V Maďarsku nájdeme veľa letísk s aktívnymi NDB priblíženiami, avšak na väčšine už je zavedené aj RNP priblíženie. [21]

5. Budúcnosť rádionavigačných zariadení

Smer vývoja rádionavigačných zariadení v budúcnosti nám ustanovuje niekoľko dokumentov, medzi nimi napr. ICAO Doc 9750 – Global Air Navigation Plan. Pre nás najaktuálnejším a najzásadnejším je však Nariadenie Komisie (EÚ) 2018/1048 PBN IR, ktorým sa stanovujú požiadavky na využívanie vzdušného priestoru a prevádzkové postupy týkajúce sa PBN.

5.1. PBN IR (Nariadenie Komisie (EÚ) 2018/1048)

Tento dokument definuje kroky, ktorými sa v krajinách EÚ má postupne prejsť na výlučne PBN prevádzku. Prvým je zavedenie RNP priblíženia na všetky prístrojové konce dráh, kde dovtedy nebol zavedený iný typ presného priblíženia a zavedenie RNAV 5 na všetky letové trate nad FL150 do 3. decembra 2020. Druhým krokom je do 25. januára 2024 zavedenie RNP priblížení aj na zvyšné prístrojové konce dráh spolu s RNAV/RNP 1 SID a STAR a zavedenie RNAV 5 aj pod FL150. Posledným krokom je RNAV/RNP 1 na všetkých SID a STAR a výlučná prevádzka PBN okrem výnimočných okolností do 6. júna 2030. [22]

Toto nariadenie v praxi znamená, že od roku 2030 sa nebudú môcť za normálnych okolností využívať konvenčné zariadenia pri traťových letoch, ako aj priblíženiach. Výnimočné situácie predstavujú nemožnosť využiť PBN, teda nedostupnosť systému, alebo zhoršené poveternostné podmienky. NDB, VOR a ILS tak budú slúžiť iba ako záloha pre tieto prípady. [23]

Cieľ tohto nariadenia je jasný, takýto prechod ponúka vyššiu bezpečnosť vďaka vyššej presnosti a zníženej záťaži posádok. Takisto je prevádzka PBN značne lacnejšia a ekologickejšia vzhľadom na možné úspory pri vykonávaní letov v podobe kratších a priamejších letov.

Okrem týchto výhod existujú samozrejme aj isté nevýhody takéhoto prechodu. Tou hlavnou je riziko nedostupnosti systémov, ktoré môžu byť ľahko ovplyvniteľné a so zvyšujúcim sa geopolitickým napätím v rôznych oblastiach sa riziko len zvyšuje. Napriek tomu, že sa bude štandardne využívať iba PBN,

posádky musia byť stále cvičené aj na konvenčné postupy, aby ich boli schopné využiť v prípade nutnosti. To však môže byť problém, ak tieto schopnosti nebudú využívať pravidelne. Otázna je takisto schopnosť všetkých zúčastnených strán vykonať takýto prechod za relatívne krátky čas.

5.2. RNAV Overlay

Jednoduchý spôsob, ako prejsť na PBN môžu byť RNAV Overlay postupy. Sú to RNAV trate, väčšinou SID alebo STAR, ktoré sa letia podľa PBN, ale ich trasa kopíruje konvenčnú trať vytýčenú konvenčnými zariadeniami. V prípade poruchy ktorejkoľvek súčasti PBN tak môže posádka rýchlo a jednoducho, bez ďalších následkov prejsť na konvenčnú navigáciu.

5.3. Rozvoj FRA

S rozširovaním PBN súvisí aj ďalšia implementácia FRA. V Európe už je FRA štandardom, postupne ho však zavádzajú vo všetkých častiach sveta. V Európe existujú plány na rozširovanie a spájanie jednotlivých FRA priestorov pre ich zjednodušenie a ďalšie zefektívnenie. [24]

6. Záver

Ako sme si ukázali, v súčasnosti prebieha celosvetovo jasný prechod od konvenčných rádionavigačných zariadení po modernejšie systémy založené na výkonnostnej navigácii, podporený iniciatívou samotných zúčastnených strán, ako aj platnou legislatívou. Napriek tomu, že so sebou prináša isté nevýhody, je to nevyhnutný vývoj, ktorý o niekoľko rokov ani nebudeme vnímať.

Referencie

- [1] CAE Oxford Aviation Academy (UK) Limited (2014). *Radio Navigation*. Oxford.
- [2] JŮN, František (2015). *Učebnica na lety podľa prístrojov*. 1. vyd. Bratislava: DOLIS.
- [3] SYSTEMS INTERFACE (bez dáta). *DVORs*. Online. Dostupné na: [https://www.systemsinterface.com/products/navaids/dvor/#:~:text=A%20DVOR%20\(Doppler%20VHF%20Omni,se nt%20from%20a%20radio%20beacon](https://www.systemsinterface.com/products/navaids/dvor/#:~:text=A%20DVOR%20(Doppler%20VHF%20Omni,se nt%20from%20a%20radio%20beacon).
- [4] SOLDÁN, Vladimír (2007). *Letové postupy a provoz letadel*. 1. vyd. Jeneč: LETECKÁ INFORMAČNÍ SLUŽBA, ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČR
- [5] PILOTSCAFÉ (2020). *Understanding ILS*. Online. Dostupné na: <https://www.pilotscafe.com/Understanding-ILS/>
- [6] NARIADENIE KOMISIE (EÚ) č. 965/2012. *Air Operations*. Online. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:02012R0965-20231002>
- [7] LANDING SYSTEM (bez dáta). *Microwave Landing System (MLS)*. Online. Dostupné na: <https://landingsystem.com/mls/>
- [8] SEDLÁK, Vladimír (2020). *Globálne navigačné satelitné systémy*. Košice: UNIVERZITA PAVLA JOZEFA ŠAFÁRIKA V KOŠICIACH VYDAVATEĽSTVO ŠAFÁRIKPRESS
- [9] EASA (2022). *Performance Based Navigation Guide*. Online. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/community/system/files/2021-03/PBN%20Guide.pdf>
- [10] DOC 9613 (2023). *Performance-based Navigation (PBN) Manual*. 5. vyd. Montreal: ICAO
- [11] EUROCONTROL (2019). *Navigation Specifications*. Online. Dostupné na: <https://pbnportal.eu/epbn/main/Overview-of-PBN/PBN-Concept---Unpacked/PBN-Navigation-Specifications.html>
- [12] EUROCONTROL (2024). *Free Route Airspace*. Online. Dostupné na: <https://www.eurocontrol.int/concept/free-route-airspace>
- [13] FLIGHTRADAR24 (2024). *GPS Jamming: the benign, the bad and the scary*. Online. Dostupné na: <https://www.flightradar24.com/blog/types-of-gps-jamming/>
- [14] LPS SR (2024). *AIP SR*. Online. Dostupné na: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=200&lng=sk&sess=OfjtUUJ85VXzJrOIJ8y0TX4BNIMS5MqbHBIDJECB>
- [15] ŘLP ČR (2024). *AIP ČR*. Online. Dostupné na: https://aim.rlp.cz/ais_data/aip/control/aip_obsah_cz.htm
- [16] FAB CE (bez dáta). *Free Route Airspace*. Online. Dostupné na: <https://www.fab-ce.eu/airspace/free-route>
- [17] AUSTROCONTROL (2024). *AIP Austria*. Online. Dostupné na: <https://eaip.austrocontrol.at/>
- [18] EUROCONTROL (2018). *South East Common Sky Initiative Free Route Airspace (SECSI FRA) successfully implemented*. Online. Dostupné na: <https://www.eurocontrol.int/news/south-east-common-sky-initiative-free-route-airspace-secsi-fra-successfully-implemented>
- [19] HUNGAROCNTROL (2021). *Based on HungaroControl's concept, one of the largest free route airspaces in Europe is expanding*. Online. Dostupné na: https://en.hungarocontrol.hu/press-room/news/seeфра_expanding
- [20] PANSA (2024). *AIP Poland*. Online. Dostupné na: <https://www.ais.pansa.pl/en/publications/aip-ifr/>
- [21] HUNGAROCNTROL (2024). *AIP Hungary*. Online. Dostupné na: <https://ais-en.hungarocontrol.hu/aip/>
- [22] NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2018/1048. *PBN IR*. Online. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32018R1048>
- [23] EASA (bez dáta). *Transition to performance-based navigation (PBN) operations*. Online. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-traffic-management/transition-pbn-operations>



POSSIBILITIES OF INCREASING THE AERODROME FIRE CATEGORY OF ŽILINA AIRPORT TO LEVEL 5

Radovan Kopúnek
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Antonín Kazda
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of the article is to examine the possibilities of increasing the aerodrome fire category of the Žilina Airport to level 5 and to propose measures and recommendations necessary to achieve this goal. This can be achieved by analysing the currently valid legislation and regulations for the aerodrome fire category issued by the International Civil Aviation Organization and the European Union Aviation Safety Agency and comparing it with the current situation at the Žilina Airport in terms of operation and provision of the rescue and firefighting service. Subsequently, based on the comparison, the article determines a new critical aircraft type for the airport and proposes a set of measures and recommendations necessary to increase the aerodrome fire category of the Žilina Airport to level 5 with regard to the frequency of operation and financial possibilities of the airport.

Keywords

Aerodrome fire category, rescue and firefighting services, response time, extinguishing agents, rescue and firefighting vehicles, fire safety

1. Úvod

Letecká doprava je podľa štatistík jedným z najbezpečnejších spôsobov dopravy a jej objem každým rokom rastie. Napriek všetkým pozitívnym štatistikám bohužiaľ nevieme zabrániť ojedinelým incidentom, či dokonca leteckým nehodám, ktoré sú spôsobené zlyhaním techniky, ľudského faktora, či nepriaznivým vplyvom počasia. So zvyšujúcim sa počtom pravidelných letov, či prepravených cestujúcich a nákladu sa zvyšuje aj riziko vzniku leteckých nehôd. Na základe historických dát možno skonštatovať, že k leteckým nehodám dochádza najčastejšie pri vzletoch a pri pristátiach, teda v priestore letiska a jeho tesnej blízkosti. Z týchto poznatkov vyplýva zrejma požiadavka, aby každé letisko disponovalo vlastnými záchrannými systémami a protipožiarnym zabezpečením. Práve prítomnosť záchrannej hasičskej služby na letiskách a prísne požiadavky na jej zabezpečenie a fungovanie umožňujú zachrániť ľudské životy po celom svete pri leteckých nehodách. Cieľom tohto článku zanalyzovať aktuálny stav protipožiarného zabezpečenia na letisku Žilina, porovnať ho so súčasnou legislatívou a predpismi a následne navrhnúť konkrétne kroky a opatrenia pre možné zvýšenie požiarnej kategórie letiska Žilina na úroveň 5.

2. Medzinárodná a národná legislatíva

Primárnym zdrojom informácií nevyhnutných pre pochopenie tejto problematiky sú odborné publikácie publikované Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo (ICAO) a Európskou agentúrou pre bezpečnosť letectva (EASA).

2.1. ICAO Annex 14 a jeho aplikácia v podmienkach SR

ICAO Annex 14 je dokument publikovaný Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo, ktorý definuje medzinárodné normy, špecifikácie a odporúčané postupy pre projektovanie, výstavbu, prevádzku a údržbu letísk, ktorých cieľom je v prvom rade zvýšenie bezpečnosti leteckej dopravy. Problematika tejto

práce je primárne zadefinovaná v ICAO Annex 14, Volume I, Aerodrome Design and Operations, Ninth Edition, CHAPTER 9. Aerodrome operational services, equipment and installations (ďalej Annex 14/I). Tieto normy a špecifikácie sa členské štáty zaväzujú uplatňovať prostredníctvom vnútroštátnych predpisov. Na Slovensku je aplikáciou tohto dokumentu predpis L14. Annex 14/I okrem iného ukladá všetkým medzinárodným letiskám povinnosť zriadiť vlastnú záchrannú a hasičskú službu. Podrobné špecifikácie a požiadavky týkajúce sa záchrannej a hasičskej služby sú uvedené v dokumente ICAO Doc 9137-AN/898, Airport Services Manual, Part 1 — Rescue and Firefighting, Fourth Edition (ďalej Doc 9137). Tento dokument poskytuje návod na implementáciu predpisov a požiadaviek uvedených v dokumente Annex 14/I týkajúcich sa záchrannej a hasičskej služby [1] [2].

2.2. EASA Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014).

Letiská nachádzajúce sa v členských štátoch Európskej únie, ktoré sú otvorené na verejné používanie, slúžia na účely obchodnej leteckej dopravy a majú prístrojovú dráhu so spevneným povrchom dĺžky 800 metrov alebo viac, alebo obsluhujú výlučne vrtuľníky využívajúce postupy priblíženia alebo odletu podľa prístrojov, musia spĺňať pravidlá pre projektovanie, údržbu a prevádzku letísk vrátane vybavenia súvisiaceho s bezpečnosťou, ktoré sú uvedené v dokumente Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014). Na základe rozhodnutia členského štátu však môžu byť z tohto nariadenia vyňaté letiská, ktoré neobslužia viac ako 10 000 cestujúcich ročne a neuskutoční sa na nich viac ako 850 pohybov súvisiacich s nákladnou dopravou ročne. Takéto letiská potom musia zodpovedať požiadavkám uvedeným v dokumente Annex 14/I. Toto je aj prípad letiska Žilina [3] [4].

3. Protipožiarne zabezpečenie letiska

3.1. Činnosť záchranej a hasičskej služby na letiskách

Hlavnou úlohou záchranej hasičskej služby (ďalej ZHS) na letiskách je záchrana osôb, majetku a životného prostredia pri leteckých nehodách a incidentoch na letiskách alebo v ich bezprostrednej blízkosti. Účelom zásahu je udržiavať podmienky pre prežitie cestujúcich, vytvoriť únikové cesty pre ich evakuáciu z miesta nehody a zahájiť záchranu tých cestujúcich, ktorí nie sú schopní opustiť miesto nehody samostatne. Ďalšími úlohami ZHS je ochrana majetku pred požiarom, spolupráca pri odpratávaní následkov leteckej nehody alebo incidentu, starostlivosť o údržbu hasičskej techniky a vybavenia, či asistancia pri vykonávaní nebezpečných prác v priestoroch letiska, ako napríklad prečerpávanie pohonných hmôt, či manipulácia s horľavými látkami. Hlavnými činiteľmi ovplyvňujúcimi úspešnosť zásahu sú výcvik príslušníkov ZHS, účinnosť prostriedkov a hasičskej techniky použitej pri zásahu a rýchlosť, s akou môžu byť personál, prostriedky a hasičská technika pri zásahu použité. Úroveň protipožiarnej ochrany letiska, minimálny počet príslušníkov ZSH v službe, požiadavky na vybavenie a hasičskú techniku sa určujú na základe požiarnej kategórie letiska, do ktorej príslušné letisko spadá [5].

3.2. Požiarna kategória letiska

Požadovaná úroveň protipožiarnej ochrany, ktorú je potrebné na letisku zabezpečiť, je určená rozmermi kritického typu lietadla pre letisko, teda najväčšieho lietadla, ktoré je oprávnené na letisku pristáť a počtom pohybov lietadiel na letisku. Annex 14/I rozoznáva 10 základných požiarnej kategórií letiska. Letisko sa zaradí do jednej z desiatich kategórií na základe celkovej dĺžky a maximálnej šírky trupu kritického typu lietadla pre dané letisko [1] [2].

Tabuľka 1: Požiarna kategória letiska podľa ICAO Annex 14/I

Kategória letiska	Celková dĺžka lietadla [m]	Maximálna šírka trupu lietadla [m]
1	0 až, ale nie vrátane 9	2
2	9 až, ale nie vrátane 12	2
3	12 až, ale nie vrátane 18	3
4	18 až, ale nie vrátane 24	4
5	24 až, ale nie vrátane 28	4
6	28 až, ale nie vrátane 39	5
7	39 až, ale nie vrátane 49	5
8	49 až, ale nie vrátane 61	7
9	61 až, ale nie vrátane 76	7
10	76 až, ale nie vrátane 90	8

V prípade, ak je počet pohybov lietadiel, ktoré spadajú do najvyššej požiarnej kategórie pre dané letisko menší ako 700 v najrušnejších po sebe nasledujúcich troch mesiacoch, môže byť požiarňa kategória daného letiska znížená o jeden stupeň od najvyššej požadovanej požiarnej kategórie. Počas obdobia zníženej činnosti na letisku môže byť požiarňa kategória letiska znížená tak, aby zodpovedala tým typom lietadiel, ktoré budú letisko počas tohto obdobia využívať, bez ohľadu na počet pohybov. Úroveň protipožiarnej ochrany možno znížiť aj na letiskách, ktoré sa využívajú výhradne na prevádzku nákladných lietadiel. Nakoľko jedinými osobami nachádzajúcimi sa v priestoroch nákladných lietadiel sú členovia posádky, záchranné práce sa sústreďujú prioritne na oblasť kokpitu lietadla [1] [2].

3.3. Hasiace látky používané na letiskách

Hasiace látky používané na letiskách rozdeľujeme na hlavné a doplnkové. Letiská musia disponovať dostatočnou zásobou hlavných, aj doplnkových hasiacich látok. Hlavné hasiace látky majú za cieľ vytvoriť dlhodobú, až trvalú kontrolu nad požiarom, t. j. po dobu niekoľkých minút alebo dlhšie. Hlavnou hasiacou látkou je pena spĺňajúca minimálnu úroveň účinnosti A, B alebo C, prípadne ich kombinácia. Doplnkové hasiace látky slúžia na vytvorenie prechodnej, alebo aj dočasnej kontroly nad požiarom. Majú veľmi vysokú účinnosť, ale väčšinou pôsobia iba počas aplikovania látky. Doplnkovými hasiacimi látkami by mali byť suché chemické prášky triedy B alebo C, prípadne iné hasiace prostriedky s minimálne rovnakou hasiacou účinnosťou. Minimálne použiteľné množstvá hasiacich látok pre príslušnú požiarňu kategóriu letiska stanovuje Annex 14/I [1] [2].

Tabuľka 2: Minimálne použiteľné množstvá hlavných hasiacich látok podľa ICAO Annex 14/I

Požiarna kategória letiska	Látka spĺňajúca úroveň účinnosti A		Látka spĺňajúca úroveň účinnosti B		Látka spĺňajúca úroveň účinnosti C	
	Voda [l]	Výtoková rýchlosť roztoku peny [l/min]	Voda [l]	Výtoková rýchlosť roztoku peny [l/min]	Voda [l]	Výtoková rýchlosť roztoku peny [l/min]
1	350	350	230	230	160	160
2	1000	800	670	550	460	360
3	1800	1300	1200	900	820	630
4	3600	2600	2400	1800	1700	1100
5	8100	4500	5400	3000	3900	2200

Špecifikácie pre úrovne účinnosti A, B, a C hlavných hasiacich látok zahŕňajú fyzikálne vlastnosti a výkon pien v podmienkach požiarnej skúšky. Údaje v Tabuľke 2 reprezentujú množstvo hasiacich látok, ktoré je potrebné na získanie kontroly v praktickej kritickej ploche požiaru po dobu jednej minúty a množstvo hasiacich látok, ktoré je potrebné na udržanie kontroly nad požiarom, alebo na možné úplné uhasenie požiaru. Množstvo vody potrebnej na výrobu hasiacej látky sa určuje podľa veľkosti aplikačnej dávky, ktorá je stanovená nasledovne:

- 8,2 l/min/m² pre úroveň účinnosti A,
- 5,5 l/min/m² pre úroveň účinnosti B,
- 3,75 l/min/m² pre úroveň účinnosti C [1] [2].

3.4. Výpočet potrebných síl a prostriedkov na zásah

Určenie kritickej plochy je jedným z konceptov pre stanovenie limitov záchrany pasažierov v lietadle. Od ostatných konceptov sa líši tým, že namiesto toho, aby sa príslušníci ZHS pokúšali dostať pod kontrolu a uhasiť celý požiar, zameriavajú sa prioritne len na požiar v oblasti trupu lietadla. Cieľom je zabezpečiť integritu trupu lietadla a zachovať znesiteľné podmienky pre pasažierov. Veľkosť kontrolovanej kritickej plochy potrebná na dosiahnutie tohto cieľa pre konkrétny typ lietadla je určená experimentálne. Je potrebné rozlišovať medzi teoretickou kritickej plochou a praktickou kritickej plochou. Teoretická kritickej plocha je oblasť okolo lietadla, v ktorej by mal byť požiar uhasený a ktorá umožňuje prežitie a únik pasažierov z lietadla. Nie je však určená na vyjadrenie veľkosti požiaru súvisiaceho s konkrétnym typom lietadla. Vyjadruje potenciálnu veľkosť nebezpečenstva požiaru. Veľkosť teoretickej kritickej plochy závisí od celkovej dĺžky trupu lietadla a maximálnej šírky trupu lietadla. Skúsenosti z praxe ukazujú, že skutočná plocha požiaru pri leteckých nehodách je spravidla menšia, než teoretická kritickej plocha. Vo väčšine prípadov požiar zachváti

približne dve tretiny teoretickej kritickej plochy. Túto plochu nazývame praktická kritická plocha a využívame ju na výpočet prostriedkov potrebných na zásah pre konkrétny typ lietadla [2].

Tabuľka 3: Výpočet teoretickej a praktickej kritickej plochy podľa ICAO Doc 9137

Celková dĺžka trupu lietadla [m]	Výpočet teoretickej kritickej plochy A_T [m ²]
$L < 12$ m	$L \times (12 \text{ m} + W)$
$12 \text{ m} \leq L < 18$ m	$L \times (14 \text{ m} + W)$
$18 \text{ m} \leq L < 24$ m	$L \times (17 \text{ m} + W)$
$L \geq 24$ m	$L \times (30 \text{ m} + W)$
Výpočet praktickej kritickej plochy A_P [m ²]	
$A_P = 0.667 A_T$	

Kde:

- L = celková dĺžka trupu lietadla,
- W = maximálna šírka trupu lietadla,
- A_T = teoretická kritická plocha lietadla,
- A_P = praktická kritická plocha lietadla.

Množstvo vody potrebnej na výrobu hasiacej peny pre zásah možno vypočítať zo vzorca:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (1)$$

Kde:

- Q = celkové množstvo vody potrebnej na zásah,
- Q_1 = množstvo vody potrebnej na získanie kontroly nad požiarom v praktickej kritickej oblasti,
- Q_2 = množstvo vody potrebnej pre udržanie kontroly nad požiarom, prípadne jeho úplnú likvidáciu [2].

Množstvo vody potrebnej na získanie kontroly nad požiarom v praktickej kritickej oblasti je možné vypočítať zo vzorca:

$$Q_1 = A \times R \times T \quad (2)$$

Kde:

- A = plocha praktickej kritickej oblasti,
- R = množstvo vody aplikovanej za jednu minútu na meter štvorcový,
- T = čas, po ktorý vodu pri zásahu aplikujeme [2].

Množstvo vody Q_2 sa nedá presne vypočítať, pretože závisí od množstva rôznych faktorov, ako napríklad hmotnosť lietadla, maximálna kapacita cestujúcich, objem palivových nádrží, či predchádzajúce skúsenosti ZHS. Na základe týchto faktorov bolo stanovené minimálne množstvo vody Q_2 potrebné pre zásah ako percentuálne vyjadrenie vychádzajúce z množstva vody Q_1 pre príslušné požiarne kategórie letísk, a to nasledovne:

- Pre požiaru kategóriu 3: $Q_2 = 30\% Q_1$,
- Pre požiaru kategóriu 4: $Q_2 = 58\% Q_1$,
- Pre požiaru kategóriu 5: $Q_2 = 75\% Q_1$ [2].

Minimálne použiteľné množstvá hasiacich látok pre danú kategóriu musia byť vždy k dispozícii v hasičských vozidlách pripravených k službe. Okrem toho by letisko malo disponovať aj rezervnou zásobou vody a hasiacich látok, ktorá je ekvivalentná 200% minimálneho použiteľného množstva

hlavných hasiacich látok a 100% minimálneho použiteľného množstva doplnkových látok pre dané letisko. Nádrže na hasiacu látku v hasičských vozidlách musia byť počas prevádzky vozidla vždy plné. Ak sa vo vozidle nachádza väčšie množstvo hasiacej látky, než je minimálne požadované množstvo pre dané letisko, môže sa toto dodatočné množstvo považovať za rezervnú zásobu [2] [6].

3.5. Reakčný čas

Reakčný čas je časový úsek od prvého ohlásenia núdzovej situácie príslušníkom ZHS až do momentu, kedy je prvé zásahové vozidlo na mieste nehody pripravené aplikovať hasiacu látku s rýchlosťou najmenej 50% potrebnej výtokovej rýchlosti. Podľa odporúčaní ICAO by ZHS mala byť schopná za optimálnych podmienok dodržať reakčný čas dve minúty na ktorýkoľvek koniec vzletových a pristávacích dráh (ďalej VPD), rolovacích dráh alebo ktoréhokoľvek miesta na letisku spojeného s prevádzkou lietadiel, pričom tento čas nesmie presiahnuť tri minúty. Tento časový limit korešponduje s certifikačnými kritériami lietadiel, podľa ktorých musia všetci pasažieri lietadla byť schopní opustiť lietadlo do 90 sekúnd s použitím iba 50% núdzových východov. Kritériom kontrolného času je uhasiť, alebo dostať pod kontrolu minimálne 90% požiaru do jednej minúty od prvej aplikácie hasiacich látok [2] [6].

3.6. Vozidlá hasičskej a záchranej služby

Úlohou hasičských a záchranných vozidiel je dostať sa čo najskôr na miesto nehody, zabezpečiť únikové cesty pre cestujúcich, uhasiť požiar a umožniť začatie záchranej akcie. Minimálne stanovené počty hasičských a záchranných vozidiel musia uľahčovať dopravu požadovaného množstva hasiacich látok na miesto požiaru a ich efektívnu aplikáciu. Pri určovaní počtu hasičských a záchranných vozidiel je dôležité nielen množstvo nimi nesených hasiacich látok, ale aj možnosť ich aplikácie tak, aby bolo možné pokryť celý trup lietadla v stanovenom časovom limite. Kapacita nádrže vozidla na penový koncentrát by mala zodpovedať minimálne dvojnásobku minimálneho množstva vody potrebnej na výrobu peny pri stanovenej koncentrácii. Počet hasičských a záchranných vozidiel závisí od príslušnej požiarnej kategórie letiska a je stanovený nasledovne:

- Požiarne kategória 1 – 5: jedno zásahové vozidlo,
- Požiarne kategória 6 – 7: dve zásahové vozidlá,
- Požiarne kategória 8 – 10: tri zásahové vozidlá [2] [6].

3.7. Organizácia núdzových situácií na letiskách

Každé letisko je povinné vypracovať núdzový plán, ktorý obsahuje súbor opatrení a krokov nevyhnutných pre riešenie všetkých možných druhov núdzových situácií, a to ako v priestore samotného letiska, tak aj v jeho tesnej blízkosti. Hlavným účelom núdzového plánu je minimalizovať účinky neočakávanej udalosti a zároveň minimalizovať vplyv na letovú prevádzku. Núdzové situácie si vždy vyžadujú koordináciu a úzku spoluprácu medzi všetkými zainteresovanými jednotkami. Z tohto dôvodu by mal prevádzkovateľ letiska v pravidelných intervaloch nepresahujúcich 2 roky vykonať úplné núdzové požiarne cvičenie simulujúce reakciu na leteckú nehodu veľkého rozsahu. V medziobdobí by sa tiež mali vykonávať čiastočné núdzové cvičenia [1] [6].

4. Aktuálny stav na letisku Žilina

4.1. Charakteristika letiska Žilina

Letisko Žilina je verejné medzinárodné letisko nachádzajúce sa pri obci Dolný Hričov neďaleko mesta Žilina. Zabezpečuje dopravnú obsluhu pre oblasť severozápadného Slovenska, najmä Žilinského a časti Trenčianskeho kraja. Letisko disponuje spevnenou a osvetlenou VPD 06/24, ktorá má rozmery 1 150 x 30 metrov a v smere 06 je vybavená zariadeniami pre prístrojové priblíženie ILS CAT I, vďaka čomu umožňuje prevádzku v noci a za zníženej viditeľnosti. Ďalšími časťami určenými na prevádzku lietadiel sú rolovacie dráhy A a B a odbavovacia plocha. Na letisku Žilina v súčasnosti nie je prevádzkovaná žiadna pravidelná letecká linka. Dlhodobá absencia pravidelnej obchodnej leteckej dopravy je spôsobená predovšetkým nedostatočnou dĺžkou VPD, ktorá je hlavným limitujúcim faktorom letiska, nakoľko je nedostatočná pre prevádzku väčších dopravných lietadiel, ako napríklad Boeing 737, Airbus A320, či Embraer E195. Pre niektoré typy turbovrtuľových a prúdových lietadiel však môže byť limitujúcim faktorom aj požiarne kategória letiska. Letisko sa sústreďuje predovšetkým na prevádzku nepravidelnej obchodnej leteckej dopravy, ktorá je prevádzkovaná turbovrtuľovými, či vybranými malými prúdovými lietadlami, ktoré je možné pri súčasných podmienkach na letisku odbaviť. Ďalej je letisko vo veľkom využívané na výcvikové lety pilotov Žilinskej univerzity a Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra, ktoré na letisku sídli a majú rozhodujúci podiel na jeho celkovej prevádzke. Letisko vo svojom dlhodobom pláne rozvoja počíta s predĺžením VPD zo súčasných 1 150 metrov až na 2 450 metrov, čo by umožnilo prevádzku všetkých typov úzkotrupých lietadiel, a to ako v osobnej, tak aj v nákladnej leteckej doprave. Tento krok je základným predpokladom pre otvorenie pravidelných leteckých liniek a pre ďalší rozvoj príľahlých miest a regiónov. Termín výstavby VPD momentálne nie je stanovený [7] [8].

4.2. Súčasný stav Záchranej a hasičskej služby na letisku Žilina

Záchranná a hasičská služba je na letisku Žilina zriadená na základe požiadaviek definovaných v dokumente Annex 14/I. Záchrannú hasičskú službu v podmienkach Letiska Žilina vykonávajú vyškolení pracovníci technickej obsluhy a údržby doplnení o pracovníka útvaru obchodno-prepravných služieb vo funkcii spojár. ZHS v súčasnosti spĺňa podmienky zaistenia požiarnej bezpečnosti leteckej prevádzky podľa predpisu Annex 14/I pre požiarne kategóriu 4. Vzhľadom k prevádzke letiska je v bežných prevádzkových hodinách udržiavaná požiarne kategória 3, čomu zodpovedá aj štandardné zadelenie do zmien. Zvýšenie na požiarne kategóriu 4 je možné na vyžiadanie aspoň 24 hodín vopred. ZHS sa pri svojej činnosti riadi Núdzovým plánom letiska a príslušnými predpismi pre činnosť hasičských jednotiek [9] [10].

Letisko Žilina momentálne disponuje jedným zásahovým vozidlom CAS 32 Tatra 815. Vozidlo bolo vyrobené v roku 1989 a v roku 2022 prešlo generálnou opravou. Spĺňa všetky minimálne požiadavky na zabezpečenie požiarnej kategórie 4 podľa predpisov ICAO. Vozidlo disponuje zásobníkmi s kapacitou 8 200 litrov vody a 800 litrov penidla. Pre účely hasenia je vozidlo vybavené dvomi lafetovými prúdnicami. Predná lafetová prúdica s prietokom 850 l/min je určená na hasenie menších, prevažne výcvikových a ľahkých športových lietadiel. Horná

(hlavná) lafetová prúdica s prietokom 2 800 l/min slúži na hasenie väčších dopravných lietadiel. Vozidlo v praxi neumožňuje prácu oboch prúdnic súčasne a prietok prúdnic v súčasnej konfigurácii počas zásahu nie je možné regulovať, prúdnice teda vždy pracujú pri maximálnom prietoku. Napriek tomu, že vozidlo je staršieho dátumu výroby a nedosahuje odporúčaných limitov pre akceleráciu a maximálnu rýchlosť uvedených v Doc 9137, vzhľadom na umiestnenie budovy hasičskej stanice a dĺžku VPD na letisku Žilina dokáže splniť limity reakčného času stanovené v Annex 14/I [10].



Obrázok 1: Hlavné zásahové vozidlo CAS 32 Tatra 815 na letisku Žilina

Hlavnou hasiacou látkou používanou na letisku Žilina je v súčasnosti STHAMEX_AFF 3, ktorá sa primiešava do vody ako 3% koncentrát. Táto látka spĺňa úroveň účinnosti B podľa predpisov ICAO. Doplnkovou hasiacou látkou sú prášky v práškovom hasiacom zariadení Gloria 250 kg k dispozícii vo vozidle Tatra 815. Celková zásoba vody na letisku predstavuje 8 200 litrov vo vozidle Tatra 815 a 25 000 litrov v letiskových nádržiach, čo dokopy predstavuje 33 200 litrov vody. Celková zásoba hlavných hasiacich látok predstavuje 800 litrov hasiacej látky v nádržiach vozidla Tatra 815. Celkovú zásobu doplnkových hasiacich látok tvoria prášky v práškovom hasiacom zariadení Gloria o hmotnosti 250 kg k dispozícii vo vozidle Tatra 815, štyri práškové hasiace prístroje o hmotnosti prášku 50 kg vo vozidle Renault Kangoo a jedno hasiace zariadenie o hmotnosti prášku 200 kg, ktoré je možné prepraviť na miesto nehody vo vozidle Renault Kangoo. Celková hmotnosť doplnkových hasiacich látok je teda 650 kg. Najkratší možný čas príchodu mimo-letiskových hasičských jednotiek hasičského a záchranného zboru Bytča na letisko je 10 minút od prvého ohlásenia nehody príslušnej jednotke [10] [11].

5. Zvýšenie požiarnej kategórie letiska Žilina na úroveň 5

5.1. Požiadavky na zabezpečenie požiarnej kategórie 5

V prípade, že je na letisku k dispozícii hasiaca látka spĺňajúca úroveň účinnosti B, je na požiarne kategóriu 5 potrebná zásoba vody vo vozidle 5 400 litrov, dosiahnutie výtokovej rýchlosti 3 000 l/min a zásoba doplnkových hasiacich látok 180 kg. Na základe špecifikácií hlavného zásahového vozidla CAS 32 Tatra 815 môžeme skonštatovať, že toto vozidlo nespĺňa kritérium pre dosiahnutie výtokovej rýchlosti pri použití tohto typu hasiacej látky, nakoľko maximálna výtoková rýchlosť hlavnej lafetovej prúdice na tomto vozidle je 2 800 l/min. V prípade použitia

hasiacej látky spĺňajúcej úroveň účinnosti C je potrebná zásoba vody vo vozidle 3 900 litrov, dosiahnutie výtokovej rýchlosti 2 200 l/min a zásoba doplnkových hasiacich látok 180 kg. Hlavné zásahové vozidlo CAS 32 Tatra 815 spĺňa požiadavky pre požiarnu kategóriu 5 za použitia tohto typu hasiacej látky. Pre splnenie všetkých minimálnych požiadaviek kladených na zásahové vozidlo pri požiarnej kategórii 5 je teda použitie hasiacej látky spĺňajúcej úroveň účinnosti C nevyhnutnosťou.

Minimálny počet príslušníkov ZHS na zmene je určený na základe Task and Resource Analysis. Analýza požiarnej kategórie letiska Žilina spracovaná pre charterový let Salzburg - Žilina - Salzburg prevádzkovaný lietadlom typu ATR 72-500 dňa 1. a 2. marca 2022 stanovila minimálny počet príslušníkov ZHS pre požiarnu kategóriu 5 a daný typ lietadla nasledovne: veliteľ zásahu, piati hasiči záchranári a pracovník útvaru obchodno-prepravných služieb vo funkcii spojár. Táto analýza však bola vytvorená ešte pred generálnou opravou vozidla CAS 32 Tatra 815, kedy na jeho obsluhu boli potrební dvaja príslušníci ZHS. Po generálnej oprave je možné úplné ovládanie vozidla len jedným príslušníkom ZHS, preto je možné predpokladať, že na zabezpečenie požiarnej kategórie 5 bude potrebné o jedného príslušníka ZHS menej. Minimálny počet príslušníkov ZHS pre zabezpečenie požiarnej kategórie 5 bude teda nasledovný: veliteľ zásahu, štyria hasiči záchranári a pracovník útvaru obchodno-prepravných služieb vo funkcii spojár, pričom zamestnanec vo funkcii spojár má za úlohu zabezpečiť koordináciu zásahu medzi letiskovými a mimo-letiskovými jednotkami a nemusí prejsť výcvikom ZHS. Musí však byť vyškolený na zvládnutie všetkých úloh súvisiacich s vedením a koordináciou zásahu [11].

5.2. Kritický typ lietadla pre letisko Žilina pri požiarnej kategórii 5

Po zvýšení požiarnej kategórie na úroveň 5 bude novým kritickým typom lietadla pre letisko Žilina ATR 72-600. Po technickej stránke sa jedná o turbovrtuľový letún s vrchným umiestnením krídel a zaťahovacím podvozkom. Je určený predovšetkým na krátke lety na regionálnych tratiach. Jeho celková dĺžka je 27,17 metrov, rozpätie krídel je 27,05 metrov a maximálna šírka trupu je 2,57 metra. Maximálna vzletová hmotnosť je 23 000 kg, maximálna hmotnosť užitočného zaťaženia je 7 400 kg a maximálna hmotnosť paliva je 5 000 kg. Letún v maximálnej konfigurácii pre pasažierov má k dispozícii 78 miest pre cestujúcich a vyžaduje štyroch členov posádky, vyrába sa však aj v nákladnej verzii [12].

Teoretickú a praktickú kritickú plochu letúna ATR 72-600 je možné vypočítať podľa postupu a vzorcov uvedených v Tabuľke 3 nasledovne:

$$A_T = L \times (30 + W) = 27,17 \times (30 + 2,57) = 884,93 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$A_P = 0,667 \times A_T = 0,667 \times 884,93 = 590,25 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Potrebné množstvo hasiaceho koncentrátu na zásah pri použití hasiacej látky úrovne účinnosti C je potom možné vypočítať na základe rozmerov praktickej kritickej plochy a vzorca 1 a 2 nasledovne:

$$Q_1 = A \times R \times T = 590,25 \times 3,75 \times 1 = 2213,44 \text{ l} \quad (5)$$

$$Q_2 = 0,75 \times Q_1 = 0,75 \times 2213,44 = 1660,08 \text{ l} \quad (6)$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = 2213,44 + 1660,08 = 3873,52 \text{ l} \quad (7)$$

Na zásah bude celkovo potreba minimálne 3 873,52 litrov hasiaceho koncentrátu a dosiahnutie minimálnej výtokovej rýchlosti 2 213,44 l/min. Hasenie bude vykonané pomocou hlavnej lafetovej prúdnice vozidla CAS 32 Tatra 815 s prietokom 2 800 l/min. Pri hasení bude použitá hasiaca látka spĺňajúca úroveň účinnosti C, ktorá sa zmieša s vodou do 3% koncentrátu. Príslušníci ZHS by tiež podľa odporúčaní mali byť schopní pokračovať v hasení až do úplného uhasenia požiaru, alebo do príchodu mimo-letiskových hasičských jednotiek, t. j. po dobu 10 minút. Na zabezpečenie nepretržitého hasenia hlavnou lafetovou prúdnicou po dobu 10 minút bude potrebných 28 000 litrov koncentrátu. V praxi však použitie hlavnej lafetovej prúdnice po dobu 10 minút nemožno predpokladať. Smernica výkonného riaditeľa č. 04/05 o zabezpečení ZHS počíta s časom potrebným na príjazd jednotiek ZHS na miesto nehody a zahájením hasenia približne dve a pol minúty. Následne bude po dobu zhruba jeden a pol minúty použitá na hasenie hlavná lafetová prúdnica. Počas tohto času by vozidlo malo aplikovať predpísané minimálne množstvo hasiaceho koncentrátu vypočítaného vo vzorci č. 7. Pre ďalšie hasenie môže byť následne použitá predná lafetová prúdnica s výtokovou rýchlosťou 850 l/min, alebo môžu hasiči použiť na hasenie požiarnu hadicu. V takomto prípade sa spotrebuje oveľa menšie množstvo hasiacich látok a možno predpokladať, že zásahové vozidlo dokáže pokračovať v hasení až do príchodu mimo-letiskových hasičských jednotiek, prípadne uhasiť požiar iba za použitia vlastných prostriedkov [10].

5.3. Stanovenie požiarnej kategórie letiska vzhľadom na prevádzku

Úroveň požiarnej kategórie je potrebné stanoviť s ohľadom na očakávanú prevádzku na letisku Žilina počas prevádzkovej doby letiska. Za predpokladu, že letisko bude disponovať hasiacou látkou úrovne účinnosti C, je súčasne hasičské vybavenie, množstvo vody a hasiacich látok dostatočné pre zabezpečenie požiarnej kategórie 1 – 5. Rozdiel v zabezpečení jednotlivých požiarnych kategórií spočíva predovšetkým v počte príslušníkov ZHS na zmene. Na základe platných smerníc a analýz vykonaných letiskom je minimálny počet príslušníkov ZHS a ostatných zamestnancov letiska na zmene nasledovný:

- Pre požiarnu kategóriu 3: veliteľ zásahu, dvaja hasiči záchranári, spojár,
- Pre požiarnu kategóriu 4: veliteľ zásahu, traja hasiči záchranári, spojár,
- Predpoklad pre požiarnu kategóriu 5: veliteľ zásahu, štyria hasiči záchranári, spojár.

Z údajov uvedených vyššie je zrejmé, že vyššia úroveň požiarnej kategórie vyžaduje prítomnosť väčšieho počtu zamestnancov na zmene, a teda predstavuje vyššie prevádzkové náklady. Za účelom udržania prevádzkových nákladov na prijateľnej hodnote sa ako najvhodnejšie javí riešenie, v ktorom bude letisko Žilina naďalej zabezpečovať v bežnej prevádzkovej dobe požiarnu kategóriu 3. Zvýšenie na požiarnu kategóriu 4 alebo 5 bude možné na vyžiadanie minimálne 24 hodín vopred.

Letisko Žilina aktuálne zamestnáva troch pracovníkov, ktorí prešli šesťtýždňovým základným požiarnickým kurzom a piatich pracovníkov, ktorí prešli základnou prípravou členov hasičských

jednotiek. Celkový počet zamestnancov, ktorí môžu byť považovaní za príslušníkov ZHS, je teda osem. Okrem toho sú zamestnanci útvaru obchodno-prepravných služieb vyškolení na vykonávanie funkcie spojár. Za predpokladu, že na letisku Žilina v blízkej budúcnosti nebude prevádzkovaná pravidelná letecká linka a zvýšenie na požiarnej kategóriu 4 alebo 5 bude prebiehať sporadicky, dokáže letisko personálne pokryť všetky zmeny aj so súčasným počtom príslušníkov ZHS. Potreba zamestnať viac príslušníkov ZHS by vznikla iba v prípade, že by letisko začalo prevádzkovať pravidelné letecké linky a počet príslušníkov ZHS na zmene by bolo nutné zvyšovať niekoľkokrát do týždňa [11].

6. Záver

Na základe analýzy aktuálne platnej legislatívy a predpisov, a tiež zhodnotenia súčasného stavu na letisku Žilina možno skonštatovať, že zvýšenie požiarnej kategórie letiska Žilina na úroveň 5 je možné za splnenia špecifických podmienok. Najdôležitejšou a nevyhnutnou podmienkou je zaobstaranie hlavnej hasiacej látky spĺňajúcej úroveň účinnosti C. Táto podmienka je dôležitá pre splnenie minimálnej výtokovej rýchlosti hasiacej látky stanovenej v ICAO Annex 14/I.

Vzhľadom k pripravovanému zvýšeniu požiarnej kategórie na úroveň 5 bude potrebné vypracovať novú Task and Resource Analysis týkajúcu sa tejto požiarnej kategórie a na jej základe prepracovať Smernicu výkonného riaditeľa č. 04/05 o zabezpečení ZHS na letisku Žilina. Pri vypracovávaní týchto dokumentov je potrebné klásť dôraz predovšetkým na zmenu vo výpočtoch teoretickej kritickéj plochy lietadla a praktickej kritickéj plochy lietadla, ktoré vyplývajú z nového kritického typu lietadla pre letisko. Ďalšie zmeny sa týkajú minimálneho predpísaného objemu, výtokovej rýchlosti a zásob hasiacich látok, ktoré vyplývajú z výmeny hlavnej hasiacej látky spĺňajúcej úroveň účinnosti B za látku spĺňajúcu úroveň účinnosti C, a tiež stanovenia minimálneho počtu príslušníkov ZHS na zmene pre každú požiarnej kategóriu osobitne. Pripravovaná analýza by sa tiež mala po zvážení všetkých bezpečnostných rizík zaoberať možnosťou zníženia počtu hasičov záchranárov na zmene o jedného pracovníka v porovnaní s predpísaným minimálnym počtom pre požiarnej kategórie 4 a 5 v prípade, ak letisko očakáva prilet alebo odlet lietadla spadajúceho do jednej z týchto požiarnej kategórií, ak sa jedná o lietadlo určené výlučne na prepravu nákladu. Pri takýchto typoch letov sa na palube nenachádzajú cestujúci a záchranné práce sa teda môžu sústrediť prioritne na oblasť kokpitu lietadla a záchranu členov posádky. Takáto možnosť by letisku Žilina umožnila v špecifických prípadoch znížiť počet príslušníkov ZHS na zmene a ušetriť tak finančné prostriedky.

Nová smernica o zabezpečení ZHS na letisku Žilina by s cieľom skrátiť reakčný čas mohla zaviesť povinnosť, aby pri pristávaní a vzlete lietadla spadajúceho do požiarnej kategórie 4 alebo 5 stálo zásahové vozidlo pripravené na odbavovacej ploche, a aby vodič počas tejto doby sedel vo vozidle. Toto opatrenie môže v prípade zásahu ušetriť niekoľko dôležitých sekúnd spojených s aktiváciou príslušníkov ZHS, ich príchodom k vozidlu, obliekaním, nastúpením do vozidla a naštartovaním.

Okrem vyššie uvedených krokov by sa vedenie letiska Žilina malo v dlhodobom horizonte zaoberať výmenou hlavného zásahového vozidla. Napriek tomu, že súčasné hlavné zásahové vozidlo spĺňa za vyššie uvedených podmienok všetky minimálne povinné požiadavky pre požiarnej kategóriu 5, je možné

predpokladať, že legislatíva a predpisy sa budú v budúcnosti sprísňovať a vozidlo sa tak stane technicky a morálne zastaraným.

Referencie

- [1] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANISATION. *Annex 14, Aerodromes — Volume I, Aerodrome Design and Operations*. Ninth Edition. Montréal, 2022. ISBN 978-92-9265-735-2.
- [2] INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANISATION. *Doc 9137-AN/898, Airport Services Manual: Part I — Rescue and Firefighting*. Fourth Edition. Montréal, 2015. ISBN 978-92-9249-815-3.
- [3] Nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) 2018/1139. [Online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R1139>
- [4] EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY. *Easy Access Rules for Aerodromes (Regulation (EU) No 139/2014)*. [Online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné na internete: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-aerodromes-regulation-eu>
- [5] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ ČR. *Letecký předpis L14 - Letiště*. [Online]. [cit. 2024-02-04]. Dostupné na internete: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-14/index.htm>
- [6] KAZDA, Antonín a CAVES, Robert. *Airport design and operation*. Third Edition. Bingley: Emerald Group Publishing Limited, 2015. ISBN 978-1-78441-870-0.
- [7] LETISKOVÁ SPOLOČNOSŤ ŽILINA, A.S. *Správa o činnosti Letiskovej spoločnosti Žilina, a. s. za rok 2022*. [Online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné na internete: https://www.zilinskazupa.sk/files/0_2023/body-ku-zastupitelstvu-28-6.2023/bod-14/14-sprava.pdf
- [8] ŽILINA INTERNATIONAL AIRPORT. *Plánovaný rozvoj*. [Online]. [cit. 2024-02-21]. Dostupné na internete: <http://www.letisko.sk/planovany-rozvoj/>
- [9] LETISKOVÁ SPOLOČNOSŤ ŽILINA, A.S. *Núdzový plán Letiska Žilina: Základný interný predpis č. 01/07*. Dolný Hričov, 2023. [cit. 2023-11-17].
- [10] LETISKOVÁ SPOLOČNOSŤ ŽILINA, A.S. *Zabezpečenie ZHS: Smernica výkonného riaditeľa č. 04/05*. Dolný Hričov, 2023. [cit. 2023-11-17].
- [11] LETISKOVÁ SPOLOČNOSŤ ŽILINA A.S. *Analýza požiarnej kategórie letiska Žilina vypracovaná podľa „Metodického pokynu na vykonanie analýzy úloh a zdrojov hasičskej a záchrannej služby na letiskách“: Spracovaná pre let LOWS-LZZI-LOWS ATR 72-500 D-ALBC dňa 1. a 2. marca 2022*. Dolný Hričov, 2022. [cit. 2023-11-17].

- [12] ATR. *ATR 72-600: The most fuel efficient regional aircraft*. [Online]. [cit. 2024-03-20]. Dostupné na internete: <https://www.atr-aircraft.com/aircraft-services/aircraft-family/atr-72-600/>



PLÁNOVANIE A POSTUPY NAVIGAČNÝCH LETOV VFR

Jakub Legiň
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Frederik Chodelka
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

Flying according to the visual flight rules is one of the fundamental requirements for every pilot license applicant. VFR cross-country flights combine the main principles of aviation practice, which a pilot needs to master during initial flight training. These principles encompass elements of piloting, navigation, and communication. The aim of this article is to present the basic legislative requirements related to VFR cross-country flights, including Rules of the Air defined by European regulations and the Aeronautical Information Services of the Slovak Republic. The article also describes the procedures for planning VFR cross-country flights, as well as innovative tools designed for flight planning and monitoring.

Keywords

Legislative requirements, VFR, cross-country flight, Rules of the Air, flight planning and monitoring

1. Úvod

Napriek tomu, že v komerčnom letectve sa piloti počas letu spoliehajú najmä na navigáciu podľa prístrojov, pomocou pozemných rádio-navigačných zariadení a Globálneho navigačného satelitného systému (GNSS), tak navigačné lety podľa pravidiel lietania za viditeľnosti zeme (VFR) sú stále dôležitou súčasťou leteckého výcviku každého pilota. Či už sa jedná o výcvik pre získanie preukazu spôsobilosti súkromného, obchodného alebo dopravného pilota, platná legislatíva stanovuje minimálny počet hodín, ktoré musí uchádzač absolvovať v rámci úlohy traťových preletov VFR.

Pre členské štáty Európskej únie bolo v oblasti licencovania leteckého personálu vydané Nariadenie komisie (EÚ) číslo 1178/2011, ktorým sa ustanovujú technické požiadavky a administratívne postupy týkajúce sa posádky civilného letectva. Týmto nariadením sú definované ako všeobecné, tak aj špecifické požiadavky kladené na uchádzača o preukaz spôsobilosti pilota. Z pohľadu témy plánovania a postupov navigačných letov VFR nás bude zaujímať, ako sa Nariadenie komisie (EÚ) č. 1178/2011 pozera na nálet hodín v rámci traťových preletov podľa pravidiel VFR.

Ako príklad uvediem požiadavky pre získanie preukazu spôsobilosti súkromného pilota v kategórií letúnov – PPL(A). Pre získanie PPL(A) je podľa nariadenia potrebné absolvovať minimálne 45 hodín letového výcviku na letúnoch, z čoho aspoň 5 hodín musí tvoriť samostatný prelet, vrátane jedného preletu do vzdialenosti minimálne 270 km (150 NM), počas ktorého sa uskutočnia dve pristátia s úplným zastavením na letiskách odlišných od letiska odletu. [1]

Rovnakým spôsobom sú definované požiadavky na nálet hodín v rámci navigačných preletov pre všetky preukazy spôsobilosti pilota. Z toho vyplýva, že každý pilot sa počas svojho leteckého výcviku v nejakej miere stretne s problematikou traťových letov VFR. Je preto veľmi dôležité, aby bol pilot oboznámený s pravidlami lietania, ktoré sa týkajú navigačných letov v podmienkach VMC. A takisto aby vedel traťový let dobre napláňovať a samozrejme aj vykonať.

2. Legislatívne požiadavky na navigačné lety VFR

Legislatívny rámec určujúci spoločné podmienky a pravidlá lietania na európskom nebi je definovaný Nariadením komisie (EÚ) číslo 923/2012 z 26. septembra 2012, ktoré je známe najmä pod skratkou SERA - *Standardized European Rules of the Air*. Nariadenie sa skladá z viacerých oddielov, v ktorých sú postupne popísané všeobecné pravidlá lietania, pravidlá zabraňujúce zrážkam, informácie týkajúce sa letových plánov, meteorologické podmienky na let za viditeľnosti, pravidlá na let za viditeľnosti, ako aj pravidlá pre zvláštne lety VFR, klasifikácia vzdušného priestoru a mnohé ďalšie. [2]

2.1. Pravidlá na let za viditeľnosti

Oddiel 5 nariadenia SERA definuje pravidlá na let za viditeľnosti, z ktorých pre účely tohto článku vyberám tie, ktoré sú pre pilota najdôležitejšie z hľadiska navigačných letov.

- Okrem prípadov zvláštnych letov VFR sa nesmú vykonávať vzlety a pristátia lietadiel na letisku v rámci riadeného okrsku podľa pravidiel VFR, pokiaľ je zaznamenaná výška základne najnižšej vrstvy oblačnosti nižšie ako 1500 ft alebo prízemná dohľadnosť je menšia ako 5 km.
- Okrem prípadov vzletu alebo pristátia sa let VFR nesmie vykonávať nad husto osídlenými oblasťami alebo zhromaždiškami ľudí vo výške nižšej ako 1000 ft nad najvyššou prekážkou v okruhu 600 m od lietadla.
- Všade inde, ako je uvedené v predchádzajúcom bode, sa môže lietať vo výške nie menšej ako 500 ft nad najvyššou prekážkou v okruhu 150 m (500 ft) od lietadla.
- Pri lete vo vzdušnom priestore triedy C alebo D musí pilot dodržiavať pokyny služby riadenia letovej prevádzky, nakoľko let v týchto priestoroch je podmienený letovým povolením. [2]

2.2. Minimálne dohľadnosti a vzdialenosti od oblakov za VMC

Letecká informačná príručka SR (AIP SR) definuje v časti ENR 1.2 minimálne dohľadnosti a vzdialenosti od oblakov za VMC. Tabuľka 1 sumarizuje tieto požiadavky vzhľadom na triedy vzdušného priestoru C, D a G, keďže na Slovensku sa stretujeme s týmito tromi triedami.

Tabuľka 1. Minimálne dohľadnosti a vzdialenosti od oblakov za VMC

Nadmorská výška	Trieda vzdušného priestoru	Minimálna letová dohľadnosť	Vzdialenosti od oblakov
10 000 ft a viac	C, D, G	8 km	1 500 m horizontálne a 1000 ft vertikálne
Pod 10 000 ft AMSL a nad 3000 ft AMSL	C, D, G	5 km	1 500 m horizontálne a 1000 ft vertikálne
3 000 ft a nižšie	C, D	5 km	1 500 m horizontálne a 1000 ft vertikálne
	G	5 km	Mimo oblakov a za viditeľnosti zeme

Zdroj: Vlastné spracovanie podľa AIP SR [3]

2.3. Klasifikácia vzdušného priestoru

Počas traťových letov sa môžeme v rámci vzdušného priestoru stretnúť okrem tried aj s určitými oblasťami, ktoré sú v leteckých mapách označené skratkami FIR, CTR, TMA, ATZ atď. V leteckej informačnej príručke SR v časti ENR 2.1 a 2.2 nájdeme kompletný popis všetkých oblastí a okrskov nachádzajúcich sa v slovenskom vzdušnom priestore, spolu s vymedzením ich horizontálnych hraníc, volacími znakmi, poskytovanými službami a príslušnými frekvenciami. Okrem toho si pri plánovaní traťových letov musíme dať pozor aj na priestory, ktoré sú označené ako obmedzené, nebezpečné alebo zakázané. V prípade, že je daný priestor aktívny, nesmieme ho počas letu narušiť. Skvelou pomôckou pri plánovaní letu je VFR manuál dostupný na webovej stránke Leteckej informačnej služby SR. Ten ponúka v interaktívnej mape Slovenska všetky potrebné informácie ohľadom vymedzených priestorov spolu informáciou o ich aktivitách. [3, 4]

2.4. Požiadavky na komunikáciu a odpovedač SSR

Okrem základnej klasifikácie vzdušného priestoru môže príslušný orgán vyznačiť zóny, v ktorých platia pre pilotov špecifické požiadavky na povinné rádiové vybavenie a odpovedač sekundárneho prehľadového radaru (SSR).

- **Zóna s povinným rádiovým vybavením (RMZ)** – Jedná sa o neriadenú zónu, ktorá vyžaduje, aby pilot pred vstupom do nej nadviazal na príslušnej frekvencii CTAF hlasové spojenie lietadlo-zem. Následne musí pilot počas celého letu cez RMZ monitorovať danú frekvenciu z dôvodu zvýšenia bezpečnosti letu v neriadenom vzdušnom priestore.
- **Zóna s povinným odpovedačom (TMZ)** – Pri prelete tejto zóny je nutné mať na palube lietadla zapnutý odpovedač SSR schopný prevádzky v móde A, C alebo S. [2]

3. Plánovanie navigačných letov VFR

Predletová príprava predstavuje dôležitú časť plánovania každého navigačného letu a žiadny pilot by ju nemal podceňovať, nakoľko všetky informácie zhromaždené počas prípravy môžu byť v určitej fáze letu užitočné.

3.1. Postupy predletovej prípravy

Kvalitná predletová príprava by mala zahŕňať tieto kroky:

- Príprava a plánovanie trate letu – výber a zhodnotenie otočných bodov plánovanej trate.
- Zakreslenie trate do leteckej ICAO mapy 1:500 000 s odmeraním kurzov a vzdialeností medzi každým otočným bodom.
- Kontrola využitia vzdušného priestoru – pomocou správ AUP/UUP.
- Kontrola počasia na celej trati letu – aktuálneho (METAR) aj predpovedaného (TAF).
- Podanie letového plánu (v prípade, že plánujeme využiť služby riadenia letovej prevádzky, letíme cez riadený vzdušný priestor alebo križujeme štátnu hranicu).
- Kontrola správ NOTAM – aby sme mali prehľad o všetkých obmedzeniach v priestore našej plánovanej letovej činnosti.
- Vypracovanie navigačného štítka - slúži ako navigačná pomôcka pre pilotov počas letu. Vypisuje sa v rámci predletovej prípravy aj počas samotného letu.
- Výpočet potrebného množstva paliva na let – pri výpočte nesmieme zabúdať aj na potrebnú rezervu pre prípadný odklon na náhradné letisko.
- Výpočet hmotnosti lietadla a polohy ťažiska – tzv. *Mass & Balance*. Výpočet sa robí podľa pokynov uvedených v príručke daného lietadla (AFM). [5, 6]

3.2. Príprava navigačného štítka

Navigačný štítok tvorí spolu s mapou jednu z najdôležitejších navigačných pomôcok pre pilota počas letu. Jedná sa vlastne o navigačný záznam, ktorý obsahuje informácie o každom otočnom bode plánovanej trate letu, spolu s príslušnou frekvenciou, bezpečnou nadmorskou výškou pre daný úsek, zemepisným kurzom a vzdialenosťou medzi bodmi. Takisto

pomocou neho pilot vedie záznam odhadovaných časov (ETA) a skutočných časov (ATA) preletu nad otočnými bodmi. Rovnako sa v navigačnom štítku nachádza priestor na zapísanie automatických meteorologických správ pre riadené letiská – ATIS a zapísanie znenia letového povolenia, ktoré vydáva služba riadenia letovej prevádzky. Taktiež pomáha pilotovi s manažmentom paliva pri prepínaní medzi pravou a ľavou nádržou. Vďaka navigačnému štítku získa pilot dobrý prehľad o priebehu letu a prípadné odchýlky vie rýchlejšie spozorovať a následne aj napraviť. Čím sa znižuje riziko straty orientácie počas traťového letu. Ukážka vypracovaného navigačného štítku je zobrazená na obrázku 1. [5]

NAVIGATION LOG										SK.ATO.01		Page 1									
Registration mark		Departure AD		DEP AD (WD/WS)		Destination AD		DEST AD (WD/WS)		Date											
OM - LWD		LZZI		210 / 5		LZZI		210 / 5		21.11.23											
AD	ATIS FREQ	ATIS Info	RWY	WIND (WD/WS)	VIS	CLD 1 Amount / Base	CLD 2 Amount / Base	T / TD	QNH												
LZZI	N/A	N/A	24	220 / 3	10	SCT 4800	-	12/9	1021												
LZPP	N/A	N/A																			
Clearance: KLDG RWY 7/0 - RINAL RWY - LDG																					
Clear FPL VFR, LIMA 4000 ft																					
Off-Block Time (EOBT/FM)		In-Block Time		AD ICAO code (WD/WS)		AD ICAO code (WD/WS)		XPOR Squawk		REG QNH											
08:25				LZPP 180 / 10		-		6432		1023											
Departure AD		IDENT FREQ		FUEL Request		DIST Total		IAS		Take-off time ATD		Total EET FPL Time		FUEL Departure		Flight Time Total					
LZZI		TWR 124,150		90		115		85		08:35		1*25'		90		1*18'					
Way-point (WP1)		IDENT FREQ		TRACK		ALT		DIST		ETE		ETA		ATA		Δ		FUEL Remaining		Flight Time Remaining	
LIMA (Beluša) LZZIL		LZZI TWR 124,150		228		4000		15		10		45		44		-1		87		1*08'	
Slávnica		LZDB 122,340		230		4000		7		5		49		49		-1		85,5		1*03'	
LZTN		LZTN 132,015		220		4000		11		7		56		57		0		83		0*56"	
OSKAR LZPPO		LZPP TWR 118,575		220		4000		7		5		02		04		+2		81		0*51'	
LZPP				196		1600		10		7								78,5		0*44'	
INDIA LZPPI		BA INFO 124,300		108		4000		7		5								77		0*39'	
Bánovce nad Bebravou				045		4000		16		11								74		0*28'	
Soblahov		LZTN 132,015		322		4000		11		7								71,5		0*21'	

Obrázok 1. Vzorový navigačný štítok na traťový let VFR. Zdroj: LVVC Žilina [7]

3.3. Inovatívne spôsoby predletovej prípravy

V dnešnej modernej dobe existuje niekoľko spôsobov ako si uľahčiť predletovú prípravu. Pre pilotov sú dostupné viaceré aplikácie a programy, ktoré ponúkajú veľa funkcií a možností v rámci prípravy traťového letu. Pre účely tohto článku porovnáme dva programy určené pre plánovanie a monitorovanie VFR letov.

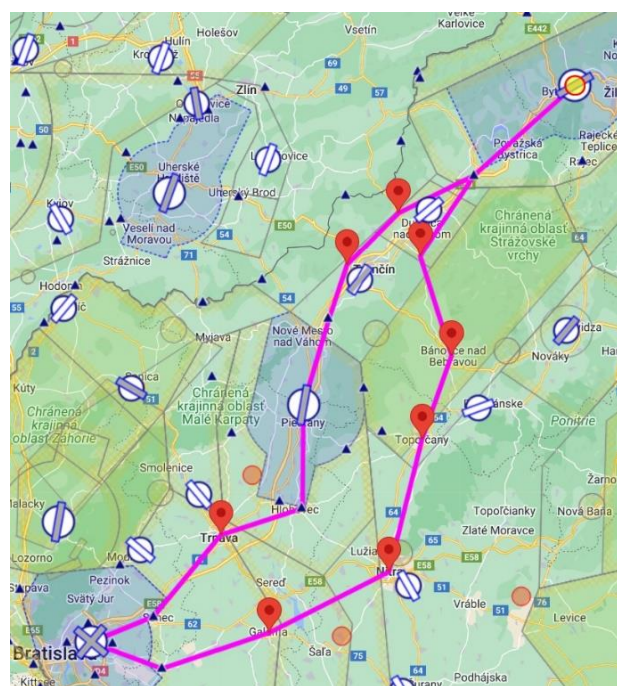
3.3.1. AirQuest

AirQuest je český program, ktorý slúži pilotom ako dobrá pomôcka pri plánovaní VFR letov. Napriek tomu, že sa nejedná o oficiálny nástroj predletovej prípravy, ako uvádza ich oficiálna

webová stránka, disponuje databázou VFR mapy Česka aj Slovenska.

Počas predletovej prípravy si vie pilot v interaktívnej mape navoliť vlastné otočné body, ktoré neskôr môže pospájať s oficiálnymi vstupno-výstupnými VFR bodmi a letiskami. Tým zostaví plánovanú trať letu. Na základe zostavenej trate program vytvorí navigačný štítok obsahujúci všetky potrebné údaje k vykonaniu traťového letu, ako sú kurzy, vzdialenosti a časy medzi otočnými bodmi. Rovnako program vytvorí aj vertikálny profil letu, vďaka čomu pilot určí bezpečnú nadmorskú výšku pre všetky úseky trate. Takisto je k dispozícii aj tabuľka preletaných priestorov, v ktorej sú vymedzené potrebné frekvencie, stanovené horizontálne hranice preletávaných priestorov, ako aj informácie týkajúce sa najbližších letísk. [8]

Obrázok 2 ukazuje trať navigačného letu VFR naplánovaného v programe AirQuest.



Obrázok 2. Trať vzorového traťového letu vytvorená v programe AirQuest. Zdroj: AirQuest [8]

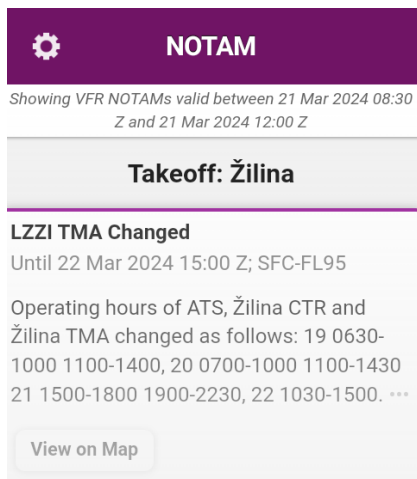
3.3.2. SkyDemon

SkyDemon je spolpatnená aplikácia určená na plánovanie a monitorovanie VFR letov. Po nainštalovaní ponúka aplikácia okrem iných aj VFR mapu Slovenska. Podobným princípom ako v predošlom prípade si vie pilot zostaviť trať z oficiálnych ale aj vlastných otočných bodov. Aplikácia na základe toho ponúkne navigačný štítok s výberom množstva údajov. Okrem základných údajov, ktoré nesmú chýbať v žiadnom navigačnom zázname, je na výber ešte možnosť zobrazenia aktuálneho smeru a rýchlosti vetra, magnetického kurzu a smeru, rýchlosti voči zemi (Ground speed), GPS súradnice každého otočného bodu atď. Nesmie chýbať ani tabuľka s frekvenciami preletávaných priestorov, či už riadených alebo neriadených letísk.

Výhodou aplikácie je jej aktuálnosť. Pokiaľ má zariadenie prístup na internet, tak aplikácia ponúka aktuálne meteorologické správy METAR a TAF pre akékoľvek letisko, ktoré takéto správy

vydáva. Takisto je možnosť zobraziť publikované správy NOTAM, poprípade aj všetky letiskové mapy prebraté z Leteckej informačnej príručky - AIP SR, ktoré by pilot mohol počas letu potrebovať. [9]

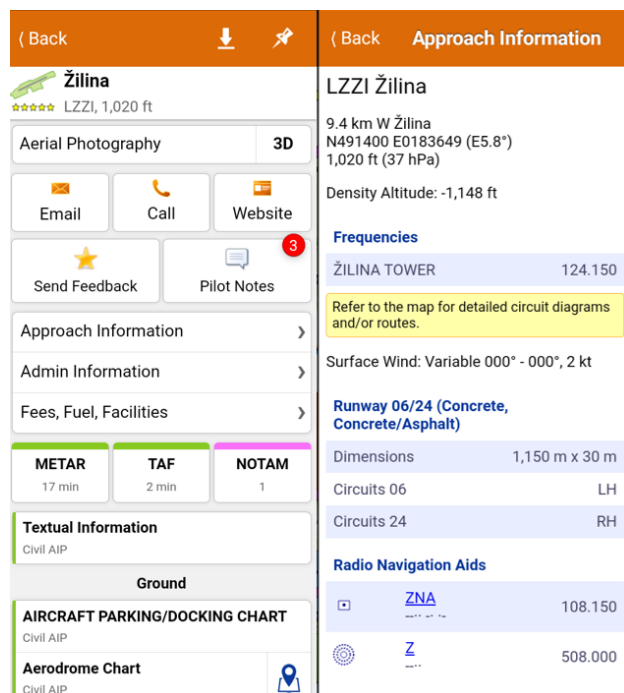
Na obrázku 3 je výstup z aplikácie SkyDemon, na ktorom je zobrazený aktuálny NOTAM publikovaný pre letisko Žilina – LZZI.



Obrázok 3. Ukážka správy NOTAM v aplikácii SkyDemon

Zdroj: SkyDemon [9]

Podobným spôsobom sú zobrazené aj ostatné informácie týkajúce sa zvoleného letiska. Ako príklad je uvedený na obrázku 4 prehľad letiska LZZI priamo v aplikácii, ktorý po rozkliknutí ponúka informácie o nadmorskej výške letiska, rozmeroch vzletovej a pristávacej dráhy, letiskových okruhoch a pozemných rádio-navigačných zariadeniach. [9]



Obrázok 4. Ukážka letiskových informácií dostupných v aplikácii SkyDemon. Zdroj: SkyDemon [9]

4. Implementácia moderných technológií do plánovania letov VFR

Súčasťou filozofie tzv. *paperless cockpit* je snaha o zminimalizovanie množstva papierov v kokpíte. To znamená napríklad aj nahradzovanie klasických papierových máp tými v elektronickej podobe. Používané sú najčastejšie tablety, poprípade iné elektronické zariadenia. Pre tento účel sa môžu v prípade traťových letov VFR použiť aj aplikácie spomenuté v predchádzajúcej podkapitole. Či už ako nástroj predletovej prípravy alebo aj na samotné monitorovanie traťového letu.

Okrem toho, že táto filozofia prináša množstvo výhod, implementácia moderných zariadení nemusí byť pre prevádzkovateľa úplne jednoduchá. To zahŕňa napríklad zabezpečenie aktuálnej databázy máp, zabezpečenie napájania elektronického zariadenia a jeho umiestnenie v kokpíte. Zariadenie zálohy zariadenia a vypracovanie postupov v prípade poruchy alebo prinajhoršom až požiaru zariadenia. V neposlednom rade netreba zabúdať ani na to, že najmä v prípade traťových letov VFR, počas ktorých by mal pilot aktívne navigovať lietadlo pomocou vizuálnej referencie s okolím, za použitia porovnávačej a výpočtovej navigácie, môže využívanie dodatočných zariadení v kokpíte odvrátiť jeho pozornosť a zrak nesprávnym smerom. Je preto na každom pilotovi aké pomôcky počas letu použije, s ohľadom na zvýšenie bezpečnosti letovej prevádzky. [10]

5. Záver

Článok bol venovaný problematike plánovania a postupov navigačných letov vykonávaných podľa pravidiel lietania za viditeľnosti. Od úvodných požiadaviek definovaných európskymi nariadeniami, ktoré vymedzujú rozsah náletu traťových preletov počas letového výcviku, až po pravidlá lietania, ktoré stanovujú bezpečné podmienky vykonávania letov podľa pravidiel VFR. V ďalšej časti boli popísané postupy pilota počas predletovej prípravy na navigačný let VFR, s dôrazom na vypracovanie navigačného štítka, ktorý tvorí jednu zo základných pomôcok pilota počas letu. Rovnako boli popísané aj možnosti dostupných inovatívnych spôsobov predletovej prípravy vo forme programov a aplikácií, vrátane ich implementácie do prevádzky.

Referencie

- [1] NARIADENIE KOMISIE (EÚ) Č. 1178/2011, [Online]. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011R1178&qid=1713701374580>
- [2] NARIADENIE KOMISIE (EÚ) Č. 923/2012, [Online]. Dostupné na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/HTML/?uri=CELEX:32012R0923&qid=1713701648497>
- [3] Letové prevádzkové služby SR. Letecká informačná služba SR. [Online] Dostupné na: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=200&lng=sk&sess=020QheKruftqFTD7MsA7Q3A9fEjfi5F9JBCFJGDB>
- [4] L4444 POSTUPY LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SLUŽIEB MANAŽMENT LETOVEJ PREVÁDZKY LIETANIA, 2012. 4. vyd. [Online]. Dostupné na: <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=204&lng=sk&sess=>

gq6tPkvA80FfEg5QAf8RO2PLO6Lf5qhVFGGFJGDB&doc=58931

- [5] TEICHERTOVÁ, A. - TOPOLČÁNY, R. 2023. Metodika pilotného výcviku: Traťové lety VFR. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline v EDIS-vydavateľstvo UNIZA, 2023. 69 s. ISBN 978-80-554-2068-4
- [6] FAA, 2023. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge: Navigation. [Online] Dostupné na: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/18_phak_ch16.pdf
- [7] LVVC Žilina. 2024. Dokumenty určené pre pilotov vo výcviku ATO LVVC [Online] – interné dokumenty
- [8] AirQuest NG. [Online] Dostupné na: <https://www.airquest.cz/>
- [9] SkyDemon. [Online] Dostupné na: <https://www.skydemon.aero/>
- [10] EASY ACCESS RULES FOR AIR OPERATIONS: PART SPA.EFB.110, 2023. [Online]. Dostupné na: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/online-publications/easy-access-rules-air-operations?page=53#_Toc256002007



VYUŽITIE POZNATKOV Z LETECKÝCH NAVIGAČNÝCH SÚŤAŽÍ V PROSTREDÍ LETECKÉHO VÝCVIKU A VZDELÁVANIA

Kristína Jana Liptajová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The research is devoted to the application of the knowledge and evaluation methods of the Air navigation race to flight training and education, with particular emphasis on the importance of pre-flight preparation and knowledge of visual cross-country navigation. The thesis aims to evaluate the navigation skills of the pilots (respondents), which was done using an objective method, i.e. measurements on a flight simulator. The respondents were divided according to flight experience and year of university studies into three groups. The results of the simulator measurements revealed an improvement in the navigation skills to many respondents. The thesis further includes a theoretical evaluation of the knowledge of students with an aeronautical background. The comparison of the result is based on the evaluation of paired questionnaires of the same scope and difficulty, with the difference that before the second questionnaire, the respondents received professional instruction on aeronautical navigation competitions and the principles of comparative navigation. Improvements in the students' theoretical knowledge results were observed for most respondents, two achieved the same result and there was no deterioration in either case.

Keywords

Air navigation, Air navigation competition, Visual navigation, Preflight preparation

1. Úvod

Letecká navigácia a schopnosť pilota sa orientovať v priestore je jeden z najdôležitejších predpokladov na bezpečné a efektívne vykonanie letu. Pre úspešné ukončenie leteckého výcviku musia piloti žiaci preukázať schopnosť zvládnuť navigačné lety. Pri orientácii v priestore využívajú leteckú mapu ICAO, respektíve prípravu na mapový podklad, vrátane navigačného štítka a základné letové prístroje v lietadle. Učia sa odhadovať vzdialenosti a časy a zároveň udržať výšku a rýchlosť letu bez novodobých vymožeností.

Po ukončení výcviku sa piloti často spoliehajú výlučne na mobilné aplikácie a mapa sa nachádza na palube lietadla už iba ako povinná súčasť vybavenia. S modernou dobou sa ich vyvinulo veľké množstvo a sú s obľubou využívané vďaka jednoduchému požívaniu a prístupu k informáciám na jednom mieste. Ďalším prínosom je, že pilot počas letu vie vždy presne, kde sa nachádza. Problém nastáva v momente, kedy mobilné zariadenie zlyhá a kvôli nedostatočnej príprave alebo praxi po výcviku môže byť náročné sa opäť zorientovať.

Nástrojom pre výcvik pilotov a zdokonaľovanie ich navigačných schopností môže byť aj letecký šport. Letecké navigačné súťaže môžu priniesť benefity nielen pilotom, ale aj žiakom v prebiehajúcom výcviku alebo študentom vysokých škôl s leteckým zameraním.

Cieľom práce je vyhodnotiť, či aplikácia poznatkov z leteckého športu má vplyv na zlepšenie navigačných schopností a vedomostí žiakov v leteckom výcviku, či študentov vysokých škôl s leteckým zameraním. Vedľajším cieľom je analyzovať alternatívy prepojenia leteckých navigačných súťaží s uvedenými oblasťami a ich aplikácia v praxi.

2. Praktické zhodnotenie navigačných schopností pilotov

Praktické zhodnotenie navigačných schopností pilotov je uskutočnené objektívnou metódou, teda meraniami na leteckom simulátore a zaznamenávaním údajov o vykonanom lete.

2.1. Spôsob získavania údajov

Respondenti (piloti v integrovanom alebo modulovom výcviku) sú rozdelení do troch skupín – podľa ročníka bakalárskeho štúdia a letových skúseností:

- 1. ročník (do 25 letových hodín), skúsenosti pred zahájením navigačných letov v leteckom výcviku;
- 2. ročník (25 – 45 letových hodín), absolvovanie úloh v leteckom výcviku, venujúcim sa navigačným letom;
- 3. ročník (nad 45 letových hodín), minimálne letové skúsenosti potrebné pre ukončenie modulového výcviku súkromného pilota.

Počiatočné zhodnotenie navigačných schopností prebieha spôsobom, že každý z respondentov odletí prvú navigačnú trať z letiska Dobrá Niva LZDN na letisko Očová LZOC bez predletovej prípravy pomocou porovnávacej navigácie.

Následne prebehne inštruktáž o leteckej navigačnej súťaži Air navigation race a piloti majú možnosť vykonania predletovej prípravy s dostatočným časom pre zoznámenie sa s mapou, terénom a význačnými bodmi vhodnými na orientáciu.

Opätovné zhodnotenie navigačných schopností je uskutočnené po druhej navigačnej trati, ktorá je obrátená – z letiska Očová

LZOC na letisko Dobrá Niva LZDN pre zabezpečenie rovnakej náročnosti ako pri prvej trati.

Úlohy pilota počas letu po navigačných tratiach sú nasledovné:

- dodržanie času vzletu;
- dodržanie stanoveného času na štartovacom bode;
- let v určenom koridore šírky 0,4 NM;
- dodržanie stanoveného času na cieľovom bode.

Trať je absolvovaná na leteckom simulátore X-Plane 12 s virtuálnou realitou. Zvoleným letúnom je hornoplošník Piper Cub s tandemovým usporiadaním sedadiel. Prístrojové vybavenie nezahŕňa systém elektronických letových prístrojov EFIS (Electronic Flight Instrument System), ale základné letové prístroje využiteľné pre určenie polohy v priestore.

Zaznamenávanie letových údajov (čas, zemepisná šírka, zemepisná dĺžka) prebieha každú sekundu.

2.2. Metóda vyhodnotenia celkovej časovej odchýlky

Každému respondentovi je vyrátaná celková časová odchýlka, stanovená súčtom počtu sekúnd: od presne stanoveného času na štartovacom bode a cieľovom bode a letených mimo vyznačeného koridoru.

Pilot by mal dosiahnuť čo najmenšiu časovú odchýlku. Je predpokladané, že medzi prvou a druhou navigačnou traťou dôjde k výraznému zníženiu tejto celkovej odchýlky.

2.3. Metóda vyhodnotenia podľa pravidiel Air navigation race

Hodnotenie prebieha pomocou penalizácii formou pridelovania trestných bodov. Trestné body sú prirátavané nasledovne: 200 trestných bodov za nedodržanie času vzletu (do 60 sekúnd bez penalizácie); 3 trestné body za každú sekundu od stanoveného času na štartovacom bode (do 2 sekúnd bez penalizácie); 3 trestné body za každú sekundu letu mimo vyznačeného koridoru (do 5 sekúnd bez penalizácie); 3 trestné body za každú sekundu od stanoveného času na cieľovom bode (do 2 sekúnd bez penalizácie); 200 trestných bodov za krúženie v koridore (za každé). [1]

Rovnako ako pri predošlej metóde vyhodnotenia, cieľom pilota je získať čo najnižší počet trestných bodov. Opäť je predpokladané zlepšenie výsledku respondentov pri porovnaní prvej a druhej letenej trate.

3. Teoretické zhodnotenie vedomostí študentov s leteckým zameraním

Teoretické zhodnotenie vedomostí študentov prebieha kombinovanou (objektívnou a subjektívnou metódou), teda vyplnením osobnostno-vedomostných dotazníkov a ich následným vyhodnotením.

3.1. Spôsob získavania údajov

Respondenti sú rozdelení rovnakým spôsobom ako pri praktickom zhodnotení navigačných schopností pilotov, avšak

dôraz je kladený na kritérium, či študenti absolvovali vysokoškolský predmet zaoberajúci sa leteckou navigáciou:

- 1. ročník (do 25 letových hodín), predmet Letecká navigácia bude absolvovaný v nasledujúcom akademickom roku;
- 2. ročník (25 – 45 letových hodín), predmet Letecká navigácia absolvovaný v súčasnom akademickom roku;
- 3. ročník (nad 45 letových hodín), predmet Letecká navigácia absolvovaný skúškou v minulom akademickom roku.

Počiatkové zhodnotenie vedomostí študentov zahŕňa 15 otázok: výber z viacerých možností, doplnenie odpovedí a prácu s mapou.

Následne prebehne inštruktáž formou edukačného videa o leteckej navigačnej súťaži Air navigation race s použitím poznatkov porovnávacej a výpočtovej navigácie.

Opätovné zhodnotenie vedomostí študentov je uskutočnené opäť formou dotazníka obsahujúceho 15 otázok rovnakej náročnosti a rovnakých tématických okruhov ako pri počiatkovom zhodnotení.

3.2. Metóda vyhodnotenia percentuálnej úspešnosti

Výsledné hodnotenie počiatkového a opätovného zhodnotenia teoretických vedomostí respondentov (študentov s leteckým zameraním) je vyjadrené percentuálne z počtu správnych odpovedí a celkového počtu pätnástich odpovedí.

Minimálna hranica úspešnosti respondentov je stanovená na 61%, prebratá z klasifikačnej stupnice hodnotenia vysokoškolských predmetov. Pod touto hranicou sa výsledok respondentov považuje za nedostatočný.

Porovnaním výsledku počiatkového a opätovného zhodnotenia študentov je možné zistiť, či aplikáciou poznatkov z leteckých navigačných súťaží nastalo zlepšenie výsledku.

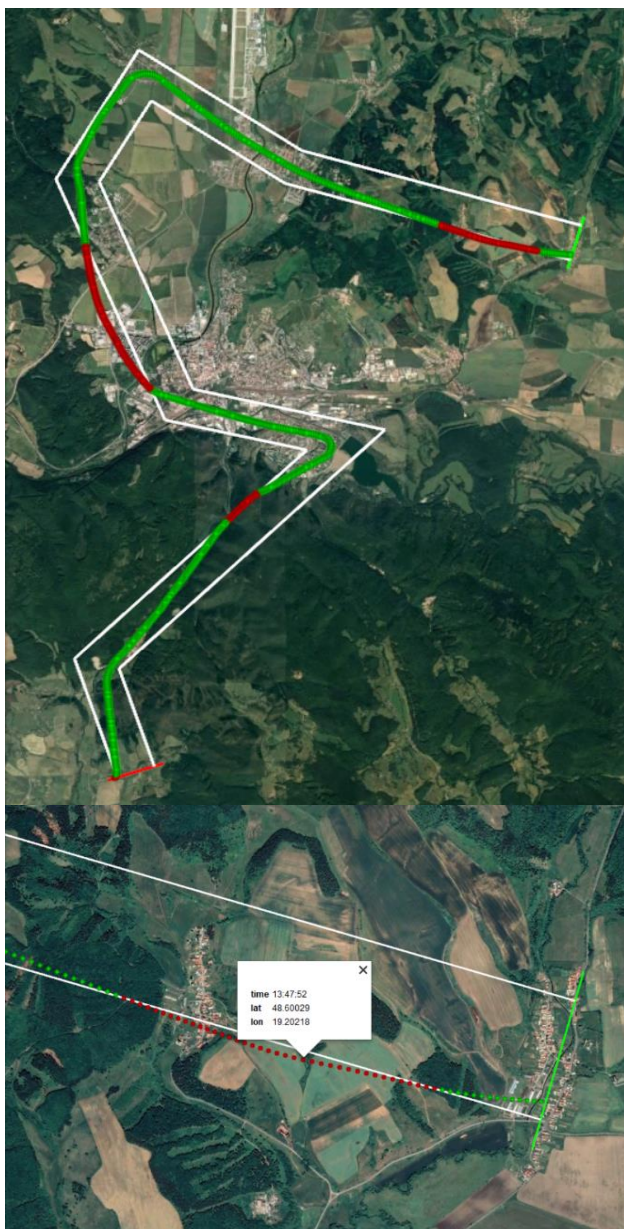
3.3. Metóda vyhodnotenia podľa kritéria licencovania letových posádok

Podľa platného znenia časti FCL (Flight crew licensing) je teoretická skúška úspešne vykonaná, ak uchádzač získa minimálne 75% bodov stanovených pre túto skúšku. [2] Táto minimálna hranica úspešnosti je aplikovaná pri počiatkovom a opätovnom zhodnotení teoretických vedomostí študentov s leteckým zameraním.

Následne je porovnané použitie metódy vyhodnotenia percentuálnej úspešnosti a metódy vyhodnotenia podľa licencovania letových posádok

4. Výsledky praktického zhodnotenia navigačných schopností pilotov

Meraniami na leteckom simulátore je získaný textový súbor dát, zaznamenaný z každého letu. Dáta sú transformované do súboru typu CSV, vyselektované a importované do aplikácie Google Earth Pro. Na Obrázku 1 je nižšie znázornená časť vzorového záznamu jedného z letov.



Obrázok 1. Časť vzorového záznamu letu.

Každý znázornený bod predstavuje informáciu o čase (time), zemepisnej šírke (lat) a zemepisnej dĺžke (lon), zapísanú každú sekundu. Čiary a body zobrazené na mape znamenajú:

- biela čiara – tvar koridoru, v ktorom má pilot letieť;
- zelená čiara – brána štartovacieho bodu;
- červená čiara – brána cieľového bodu;
- zelený bod – časť letenej trate v stanovenom koridore;
- červený bod – časť letenej trate mimo koridoru.

Týmto spôsobom je možné zistiť presný čas na štartovacom bode, počet sekúnd letených mimo stanoveného koridoru a presný čas na cieľovom bode. Tieto údaje sú potrebné pre metódu vyhodnotenia celkovej časovej odchýlky a podľa pravidiel Air navigation race.

4.1. Metóda vyhodnotenia celkovej časovej odchýlky

Údaje, ktoré boli získané meraniami, sú: čas mimo koridoru, odchýlka od stanoveného času na SP a odchýlka od stanoveného času na FP. Celková odchýlka je vypočítaná ich súčtom.

Porovnanie počiatočného a opätovného zhodnotenia navigačných schopností pilotov je získané rozdielom celkovej časovej odchýlky počiatočného a opätovného zhodnotenia.

Zlepšenie výsledku a navigačných schopností je spozorované pri štrnástich z celkového počtu pätnást respondentov. Respondent, u ktorého bolo preukázané zhoršenie výsledku, zaletel obe trate počiatočného aj opätovného zhodnotenia bez vystúpenia zo stanoveného koridoru. Zvýšenie časovej odchýlky na štartovacom a cieľovom bode môže byť pripísané ľudskému faktoru a únave, keďže let opätovného zhodnotenia konkrétneho respondenta bol vykonaný ako posledný, na konci letového dňa.

4.2. Metóda vyhodnotenia podľa pravidiel Air navigation race

Hodnotenie podľa pravidiel Air navigation race prebieha na základe pridelovania trestných bodov. Okrem časových odchýliek a letu mimo stanoveného koridoru je penalizovaná aj odchýlka od stanoveného času vzletu, let pod minimálnou stanovenou výškou a krúženie v koridore.

Údaje, ktoré boli získané meraniami, sú: čas mimo koridoru, odchýlka od stanoveného času na štartovacom bode a odchýlka od stanoveného času na cieľovom bode.

Celkový počet trestných bodov je získaný súčtom penalizácií za:

- nedodržanie času vzletu;
- nedodržanie času na štartovacom bode;
- čas strávený mimo koridoru;
- nedodržanie času na cieľovom bode;
- krúženie v koridore;
- let pod minimálnou stanovenou výškou.

Trestné body za nedodržanie času vzletu a že let pod minimálnou stanovenou výškou neboli udelené žiadnemu z respondentov. Zlepšenie navigačných schopností vyhodnotených podľa pravidiel Air navigation race nastalo u trinástich z pätnást respondentov.

Výsledok jedného z respondentov je ovplyvnený pridelením penalizácií za krúženie v koridore, ktoré nie je zohľadnené pri metóde celkovej časovej odchýlky.

Výsledok druhého respondentu je vyhodnotený podobným spôsobom ako pri predošlej metóde, penalizácie sú udelené iba za nedodržanie časov na štartovacom a cieľovom bode, keďže celý let bol absolvovaný v stanovenom koridore a bez ďalších penalizácií.

4.3. Porovnanie metód vyhodnotenia navigačných schopností pilotov

Po vyhodnotení časových odchýliek (metóda vyhodnotenia celkovej časovej odchýlky) a pridelení penalizačných trestných

bodov (metóda vyhodnotenia podľa pravidiel Air navigation race), je stanovené poradie úspešnosti respondentov – vzostupne od najlepšieho výsledku. Na základe tohto poradia je možné určiť, či použitie iného spôsobu hodnotenia môže ovplyvniť umiestnenie respondentov.

Poradie úspešnosti pilotov opätovného zhodnotenia navigačných schopností je ovplyvnené zmenou metódy vyhodnotenia až v siedmich prípadoch z pätnástich. Posun dotknutých respondentov v poradí úspešnosti však nastal iba o jedno až dve miesta.

Je možné tvrdiť, že zmena spôsobu hodnotenia ovplyvňuje poradie výsledkov, avšak z pohľadu respondenta tento vplyv nie je veľmi výrazný.

5. Výsledky teoretického zhodnotenie vedomostí študentov s leteckým zameraním

Porovnaním úspešnosti počiatočného a opätovného hodnotenia je možné zistiť, či aplikáciou poznatkov z leteckých navigačných súťaží prišlo k zlepšeniu výsledku.

5.1. Metóda vyhodnotenia percentuálnej úspešnosti

Minimálnu hranicu úspešnosti 61% počiatočného hodnotenia nespĺňa šesť vyznačených respondentov z celkového počtu pätnásť, pričom sa jedná o študentov, ktorí ešte neabsolvovali vysokoškolský predmet o leteckej navigácii alebo ho absolvujú v aktuálnom akademickom roku.

V opätovnom zhodnotení vedomostí študentov, po absolvovaní inštruktážneho videa o leteckej navigačnej súťaži a princípoch porovnávacej navigácie, bola táto stanovená hranica dosiahnutá vo všetkých prípadoch.

Zlepšenie, získané porovnaním percentuálnej úspešnosti počiatočného a opätovného zhodnotenia, nastalo v trinástich prípadoch, dvaja respondenti dosiahli výsledok rovnaký a zhoršenie výsledku nebolo zaznamenané ani v jednom prípade.

5.2. Metóda vyhodnotenia podľa kritéria licencovania letových posádok

Minimálnu hranicu úspešnosti 75 % počiatočného hodnotenia nespĺňa až deväť vyznačených respondentov z celkového počtu pätnásť. Opäť sa jedná prevažne o študentov, ktorí ešte neabsolvovali vysokoškolský predmet o leteckej navigácii alebo ho absolvujú v aktuálnom akademickom roku.

Po absolvovaní inštruktážneho videa o leteckej navigačnej súťaži a princípoch porovnávacej navigácie, v opätovnom zhodnotení vedomostí metódou podľa kritéria licencovania letových posádok, sú pod stanovenou hranicou traja respondenti.

5.3. Porovnanie metód vyhodnotenia teoretických vedomostí študentov

Metóda vyhodnotenia percentuálnej úspešnosti respondentov (minimálna stanovená hranica úspešnosti 61%):

- počiatočné zhodnotenie: 6 neúspešných;
- opätovné zhodnotenie: 0 neúspešných.

Metóda vyhodnotenia respondentov podľa kritéria licencovania letových posádok (minimálna stanovená hranica úspešnosti 75%):

- počiatočné zhodnotenie: 9 neúspešných;
- opätovné zhodnotenie: 3 neúspešni.

Metóda licencovania letových posádok má nastavené prísnejšie kritériá ako metóda hodnotenia teoretických vedomostí vysokoškolských študentov. Spôsob hodnotenia licencovania leteckého personálu by mohol byť použitý pre hodnotenie študentov vysokých škôl s leteckým zameraním. Prísnejšie hodnotenie má opodstatnenie z hľadiska dôležitosti bezpečnosti v letovej prevádzke.

6. Letecké navigačné súťaže v prostredí leteckého výcviku a vzdelávania

Participácia na leteckých navigačných súťažiach či zaradenie leteckých navigačných súťažných úloh do prostredia leteckého výcviku by mohlo predstavovať praktický prínos pre študentov a žiakov v leteckom výcviku. Súťaž Air navigation race je letená v posádke, čo umožňuje účasť aj študentom nezaradeným do leteckého výcviku. Možnosť kombinácie posádok je nasledovná:

- pilot: inštruktor – navigátor: študent;
- pilot: žiak vo výcviku – navigátor: inštruktor;
- pilot: inštruktor – navigátor: žiak vo výcviku.

7. Záver

Stanoveným cieľom bakalárskej práce bolo vyhodnotiť, či aplikácia poznatkov z leteckého športu môže mať vplyv na zlepšenie navigačných schopností a vedomostí pilotov, žiakov v leteckom výcviku a študentov vysokých škôl s leteckým zameraním. Dôraz je kladený na dôležitosť znalosti porovnávacej navigácie a predletovej prípravy, ako jedným z nástrojov pre bezpečné a efektívne vykonávanie letov.

Praktické zhodnotenie navigačných schopností pilotov prebieha objektívnou metódou, teda meraniami na leteckom simulátore a zapisovaním údajov o vykonanom lete. Letové údaje boli zaznamenávané každú sekundu. Podkladmi pre vykonanie letu boli – mapa s vyznačeným letovým koridorom, fotografia štartovacieho a cieľového bodu a informácie o letisku vzletu. Porovnané boli dáta počiatočného a opätovného hodnotenia. Výsledky preukázali zlepšenie navigačných schopností u väčšiny respondentov, použitím vyhodnotenia dvoch metód, metódou celkovej časovej odchýlky a metódou podľa pravidiel Air navigation race.

Teoretické zhodnotenie vedomostí študentov s leteckým zameraním bolo uskutočnené na základe vyhodnotenia dvoch vedomostných dotazníkov rovnakého rozsahu a náročnosti s rozdielom, že pred druhým dotazníkom bola absolvovaná inštruktáž o leteckých navigačných súťažiach a princípoch porovnávacej navigácie. Posúdenie výsledkov je metódami celkovej percentuálnej úspešnosti a metódou vyhodnotenia podľa kritéria licencovania letových posádok. Zvýšenie úspešnosti počiatočného a opätovného zhodnotenia teoretických vedomostí študentov bolo zaznamenané u väčšiny respondentov, dvaja dosiahli výsledok rovnaký a zhoršenie nebolo spozorované u žiadneho zo študentov.

Aplikácia poznatkov z leteckých navigačných súťaží v prostredí leteckého výcviku a vzdelávania môže mať pre študentov a žiakov významný prínos. Cieľom súťaží je zvýšiť schopnosť pilotov navigovať a riadiť lietadlo, bez použitia technologicky vyspelých navigačných systémov a popularizačnou formou vzdelávať a zvyšovať bezpečnosť pilotov všeobecného letectva. Tieto zručnosti môžu byť rovnako prospešné pre oblasť leteckého výcviku a vzdelávania.

PodĎakovanie

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

Referencie

- [1] World Air Sports Federation. Rules and Regulation AIR NAVIGATION RACE. 2023. [online]. [cit. 2024-03-28]. Dostupné na: https://www.fai.org/sites/default/files/documents/2023_gac_anr_rules_and_regulations.pdf
- [2] Dopravný úrad. Podmienky vykonania teoretických skúšok – piloti. [online]. [cit. 2024-04-20]. Dostupné na: <http://letectvo.nsat.sk/letecky-personal-2/piloti/teoreticke-skusky/podmienky-vykonania-teoreticky-skusok-piloti/>



NÁVRH HYBRIDNEJ POHONNEJ JEDNOTKY PRE EXPERIMENTÁLNY LETÚN STRATON D7

Oliver Longauer
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of this article is designing hybrid power unit for the needs of experimental aircraft Straton D7. Article describes different options of hybridization of power units on basis of their architecture and the function of electric component in relation to the whole power unit. Compares different designs of automotive and aircraft solutions of hybridization of power units. After that, article offers solution for hybrid engine of Straton D7 on basis of gained theoretical knowledge, comparison of shown conceptions and basic calculations, with the needs and predisposition of the original aircraft in its best interest.

Keywords

Hybrid power unit, design, 2-stroke engine, mild hybrid

1. Úvod

Hybridné pohonné ústrojenstvá sú trendom v oblasti automobilového priemyslu v dosiahnutí možného kroku k efektívnemu využitiu palív a zvyšovania účinnosti pohonnej jednotky ako celku. Vývoj v tomto smere prebieha s ohľadom na viaceré faktory, akými sú napríklad zvyšovanie celkového výkonu, znižovanie emisií a vplyvu na životné prostredie, alebo samotný vplyv na cenu prevádzky vozidla v podobe zníženej spotreby paliva. Od konca dvadsiateho storočia sa táto technológia dostala do štádia, kedy je možné sa pokúsiť o uplatnenie aj v iných sektoroch dopravy, ktorou je napríklad aj letecká doprava.

Cieľom je dosiahnuť návrh hybridnej pohonnej jednotky pre experimentálny letún Straton D7 v smere, ktorý dáva zmysel z pohľadu leteckej dopravy a uplatniteľnosti aj pre ďalšie motory bez nutnosti kompletnej náhrady pôvodného spaľovacieho motora. Tým bude dvojtaktný zážihový motor Trabant P63, ktorý je súčasťou modelu dostupného v rámci Žilinskej univerzity v Žiline. Keďže je to motor, ktorého úloha bola pôvodne taktiež v rámci automobilovej dopravy, je toto spojenie technológií viac než prihodné.

2. Hybridizácia piestových motorov

Hybridizácia piestových spaľovacích motorov prebieha už dlhodobo najmä v rámci automobilového priemyslu. Vývoj prebiehajúci v tomto odvetví však môže byť s ohľadom na isté koncepcie účelný aj z hľadiska leteckej dopravy, keďže ponúka možnosti zlepšiť vlastnosti piestového spaľovacieho motora v oblastiach, ktoré môžu byť zaujímavé z ekonomického, ekologického alebo výkonnostného hľadiska. Pod týmto pojmom sa predstavuje doplnenie piestového spaľovacieho motora o ďalší zdroj energie, či už sa jedná o batériu, zotrvačník alebo iný ďalší zdroj. Účely a výsledky tohto procesu môžu byť rôzne.

Prvým priamočiarým účelom je snaha dosiahnuť väčšiu prejednú vzdialenosť s použitím rovnakého množstva paliva. To by

prinášalo ekonomické výhody v podobe nižších nákladov na prevádzku. V automobilovom priemysle sú tieto snahy viac než úspešné. Priemerný hybridný motor môže v rámci rôznych motorových režimov dosiahnuť výrazné zlepšenie úspornosti s ohľadom na spotrebu paliva až do výšky 50% v závislosti od koncepcie motora, požadovaných rýchlostí a požadovaných módov prevádzky. [1]

Zlepšenie výkonnostných vlastností v daných režimoch je ďalšou motiváciou hybridizácie piestového motora. Využitie elektromotora v istých režimoch prevádzky vozidla je nie len ekonomicky výhodné, ale môže takáto technológia slúžiť aj ako spôsob krátkodobého zvýšenia výkonu v určitých situáciách. V ponímaní leteckej dopravy by mohla byť takáto požiadavka počas fázy vzletu, kedy je vo všeobecnosti záujem využívať motor v maximálnom režime, čo vedie k predpokladu o záujme zvýšenia výkonu pomocou napríklad hybridnej zložky. Druhou stranou mince je poznámka, kedy maximálna záťaž na motor priamo ovplyvňuje jeho spoľahlivosť v dlhodobom hľadisku. V prípade doplnenia výkonu skrz hybridnú zložku motora by piestový spaľovací motor mohol obmedziť svoj výkon práve tak, aby sa v súčte maximálny výkon nezmenil, avšak zároveň sa predĺžila jeho bezpečná prevádzka o množstvo hodín.

So správnou úvahou nad využívaním zložiek hybridného motora vieme dospieť aj k zníženiu ekologickej záťaže. Hybridný motor má k dispozícii dva zdroje výkonu, čím dokážeme optimalizovať spotrebu a emisie podľa našich požiadaviek chodu. Potenciál využitia výhod piestového spaľovacieho motora a zároveň výhod elektromotora nám prináša možnosti, kedy prevádzka motora môže dosiahnuť nižšiu úroveň ekologickej záťaže. Takýto počín je vo všeobecnosti vítaný v akejkolvek podobe a má efekt na široké spektrum oblastí.

2.1. Možnosti hybridizácie na základe konštrukčnej schémy hybridizácie

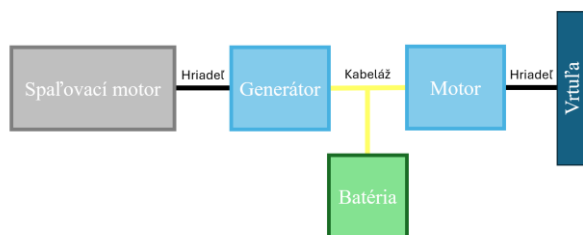
Pri stavbe hybridného motora existuje viac možností, ako takúto úlohu poňať z konštrukčnej stránky. Požiadavky na funkcie a účel hybridizácie sú kľúčovým faktorom výberu koncepcie stavby

hybridnej pohonnej jednotky. Rozdeľujúcou stránkou je poňatie úlohy zakomponovania elektrickej zložky do architektúry motora a spôsob prenosu energie oboch zložiek a ich následný stret.

2.1.1. Sériové radenie hybridného motora

Pri sériovom radení motora sú súčasťou hybridnej pohonnej jednotky usporiadané za sebou v rade. Spaľovací motor má za úlohu poháňať generátor elektrickej energie. Ak sa úroveň nabitia akumulátora dostane na kritickú hodnotu, môže ho aj začať dobíjať, ak mu to umožňuje aktuálna situácia požiadavky na jeho dodávaný výkon. V záujme využitia potenciálu tejto koncepcie je spaľovací motor nutné nastaviť tak, aby za každých okolností pracoval len vo svojom optimálnom okne otáčok, kedy jeho efektívnosť je maximálna. Ak je táto podmienka splnená, môžeme dosiahnuť výrazné zníženie spotreby paliva a záťaže voči životnému prostrediu. Schematicky túto koncepciu zobrazuje Obrázok 1. Energiu získanú spaľovacím motorom premieňa generátor na elektrickú energiu v striedavom prúde. Problém nastáva v momente stretu s elektrickou energiou z akumulátora, ktorý ju poskytuje v podobe jednosmerného prúdu. Znamená to potrebu transformácie prúdu tak, aby sme vedeli využiť možnosti akumulátora. Následne je potrebné túto transformáciu vykonať druhý raz, aby sme mohli poháňať elektrický motor, ktorý je následne už zodpovedný za prenos výkonu smerom na pohonné ústrojenstvo v podobe vrtule. Z popisu vyplýva nutnosť viacnásobnej transformácie energie, čo vedie k stratám. [2] [3]

Keďže generátor je mechanicky spojený priamo s piestovým spaľovacím motorom, je nutné mať generátor veľkosti, ktorý bude zvládať takúto záťaž. Zároveň je táto požiadavka prenášaná aj na elektrický motor, ktorý musí tiež vyhovieť takejto požiadavke, aby dokázal využiť a doručiť dostupný výkon. Z tohto dôvodu sa sériový hybridný motor stretáva s problémom vysokej hmotnosti pohonného ústrojenstva ako celku. [2] [3]



Obrázok 1: Schéma sériového radenia hybridnej pohonnej jednotky [2] [autor]

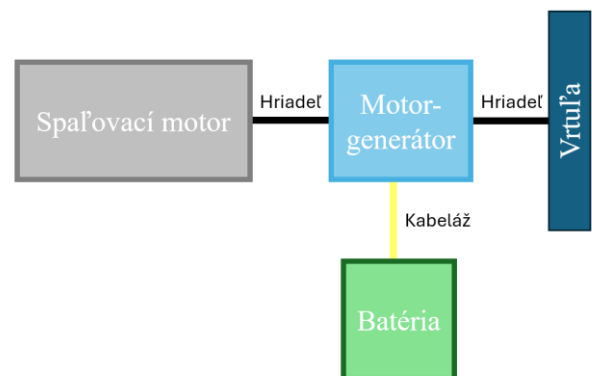
2.1.2. Paralelné radenie hybridného motora

Paralelné radenie hybridného motora môže byť charakterizované ako úplný opak voči sériovej koncepcii z hľadiska ponúkaných možností a vlastností, danými stavbou pohonnej jednotky. Ako zobrazuje Obrázok 2, výrazným rozdielom je priame mechanické prepojenie motora s vrtuľou. Zároveň hriadeľ otáča aj rotormi potrebnými pre funkciu motor-generátora. Ten je v tomto prípade spojený, a nemusí prebiehať viacnásobná premena energie. Taktiež môže byť prepínaný medzi módmi nabíjania akumulátora, alebo vybijania v móde dodávania výkonu pohonnému ústrojenstvu. Pre obidve vetvy je

spoločná potreba konvenčnej prevodovky, kedy maximálne otáčky by mali byť spolu zosynchronizované. [2] [3]

Výhodou hybridnej pohonnej jednotky radenej paralelne je jej výrazne nižšia hmotnosť, získaná nutnosťou použitia len jedného elektrického stroja. Znižovanie hmotnosti súvisí aj s tým, že ak je elektrická zložka mienená len na dodatočný výkon na obmedzený čas, napríklad počas vzletu, máme možnosť zmenšiť a odľahčiť pohonnú jednotku, čo pri sériovom radení nie je možné.

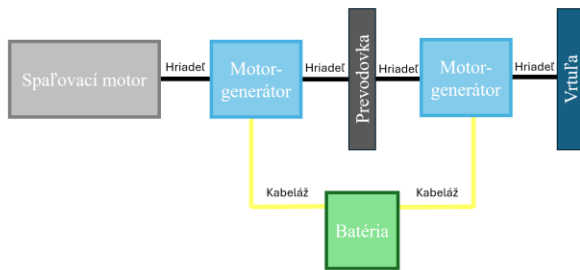
Aj paralelné radenie sa stretáva so svojím koncepčným problémom. Otáčky spaľovacieho motora sú priamo naviazané na otáčky vrtule, čo predstavuje problém pri snahe o zaručenie najnižšej možnej spotreby paliva. Táto nevýhoda by bola obzvlášť podčiarknutá pri používaní pevnej vrtule. Riešením problému môže byť využitie pomocného systému, ktorým môže byť napríklad uplatnenie elektrickej spojky v leteectve, avšak riešenia tejto koncepčnej nevýhody znižujú existujúce pozitíva využitia paralelného radenia hybridného motora.



Obrázok 2: Schéma paralelného radenia hybridnej pohonnej jednotky [2] [autor]

2.1.3. Kombinované radenie hybridného motora

Existujú riešenia architektúry hybridného motora, ktoré sa snažia zachovať výhody oboch spôsobov radenia. Problémom však je zachovanie takej hmotnosti vzhľadom na poskytovaný výkon, ktorý ešte dáva zmysel pre leteckú dopravu. Obrázok 3 zobrazuje práve jednu možnú konfiguráciu, kedy v sériovom radení nájdeme prvý motor-generátor so spaľovacím motorom, za ním je hriadeľ vedený do špecifickej planetárnej prevodovky. Následne koncepcia pripája druhý motor generátor, ktorý už je aj zároveň spojený s vrtuľou. Akumulátor je pripojený zároveň podľa sériovej koncepcie k prvému motor-generátoru, aj podľa paralelnej koncepcie k druhému motor generátoru. Znamenalo by to možnosť využiť optimalizovaný zmenšený spaľovací piestový motor pri konštantných otáčkach, zodpovedajúcich najideálnejšej spotrebe paliva alebo výkonu podľa aktuálnej požiadavky od motora. Avšak so spojením výhod sériového radenia hybridného motora a výhod paralelného radenia hybridného motora je spojená aj cena v podobe ešte výraznejšieho navýšenia hmotnosti takejto pohonnej jednotky ako celku. [2]



Obrázok 3: Schéma kombinovaného radenia hybridnej pohonnej jednotky [2] [autor]

2.2. Možnosti hybridizácie na základe funkcie elektrickej zložky motora

Hybridizáciu piestového spaľovacieho motora môžeme navrhnuť vo viacerých stupňoch pomeru výkonnosti medzi spaľovacím motorom a jeho elektrickým doplňujúcim motorom. Voľbu z možností pri návrhu koncepcie je dôležité urobiť na základe našich požiadaviek a predstáv, do akej miery chceme, aby sme sa spoliehali na elektrickú zložku.

2.2.1. Micro hybrid (Mikro hybrid)

Stupeň micro hybrid je úrovňou, kedy elektrická zložka slúži len na určité úkony nie nutne spojené s prevádzkou počas jazdy, v respektíve počas letu. V automobilovom priemysle je najčastejšie spájaný s funkciou Štart/Stop, kedy elektricky po zastavení vozidla je spaľovací motor vypnutý bez nutnosti zásahu vodiča. Účelom je zníženie spotreby paliva počas doby, kedy nie je záujem o výkon motora. Následne po zošliapnutí pedálu je elektricky opäť spaľovací motor naštartovaný a pripravený. Súčasťou funkcie micro hybridov je doplnenie o jednotku spravovania energie. Funkciou je dosiahnuť zníženie spotreby paliva vďaka využitiu 12V batérie, ktorá už je súčasťou spúšťacej sústavy motora, na napájanie všetkých potrebných elektrických systémov. Vďaka tomuto riešeniu je záťaž a využitie alternátora znížené na minimum, čo nepriamo vedie k zníženej spotrebe paliva spaľovacieho motora. Výraznou výhodou tejto koncepcie je schopnosť relatívne jednoduchej implementácie a je lacnou možnosťou v smere hybridizácie. Nie je nutný takmer žiadny zásah do stavby motora alebo do celej konštrukcie daného vozidla, pre ktoré platí využitie batérie v rámci spúšťacej sústavy. [4] [5] [6]

2.2.2. Mild hybrid (Mierny hybrid)

Mild hybrid je nasledovnou vyššou úrovňou pre pomer elektrickej zložky voči celkovému výkonu motora. Napriek navýšeniu ani v tomto prípade nedokáže elektrická zložka byť plnohodnotnou náhradou spaľovacieho motora a nemôžeme sa naň spoliehať samostatne. Účelom je stále len asistancia spaľovaciemu motoru, avšak už nie len nepriamym vplyvom, ktorým je nahradenie funkcie alternátora a náhrada konvenčnej štartovacej sústavy. Nikdy sa pohon neskladá len z elektromotora, avšak už sa môže pri tejto koncepcii priamo podieľať na celkovom výkone motora.

Pri tomto stupni už vo veľkej miere vstupuje do procesu nutnosť dobíjania zdroja elektrickej energie. Keďže je v záujme tohto konceptu mať podiel aj na výkone motora, musíme zdroj elektrickej energie spojiť s motorom pomocou motor-

generátoru. Na základe toho, akým spôsobom motor-generátor je zaradený v rámci stavby motora, rozlišujeme dve vedúce varianty. Prvou je riešenie BiSG (Belt-integrated Starter Generator). Vo všeobecnosti je považované za najbežnejšie riešenie v oblasti automobilového priemyslu. Náprotivným riešením je CiMG (Crankshaft-integrated Motor Generator). Rozdielom je poňatie konceptu umiestnenia elektrického stroja. Kým variant BiSG spája elektrický stroj s piestovým motorom remeňom, CiMG koncepcia využíva elektrický stroj umiestnený na kľukovom hriadele za spaľovacím motorom. [4] [6]

2.2.3. Full hybrid (Úplný hybrid)

Full hybrid je najvyššou kategóriou z hľadiska hybridizácie motora. Tento variant sa vyznačuje tým, že elektrická zložka pohonu má dostatočný výkon na to, aby vyhovel samostatne požiadavke potrebného výkonu na pohon a aby tomu vyhovel, mala by byť zložka výkonu elektrickej časti na celkovom výkone aspoň 40%. Potrebný zdroj elektrickej energie je teda výrazne väčší oproti mild hybridom, čo dáva možnosť výrazne zmenšiť potrebný piestový spaľovací motor, kedy požiadavka na jeho výkon je omnoho menšia. Módy takéhoto motora sa môžu buď opierať výhradne o výkon elektromotora, o spoluprácu elektromotora so spaľovacím motorom alebo môže počas nutnosti dobitia zdrojov elektrickej energie pracovať len spaľovací motor. Pri správnom nastavení týchto módov podľa režimov prevádzky môžeme dosiahnuť najvýraznejšie zníženie spotreby paliva pre spaľovací motor, emisii, aj záťaže a zvýšenie spoľahlivosti spaľovacieho motora. [4] [6]

2.2.4. Plug-in hybrid

V spojitosti s full hybridmi je problémom vysoká závislosť na možnostiach dobíjania akumulátora počas jazdy. Tento problém rieši verzia plug-in hybridov s možnosťou dobiť zdroj skrz akýkoľvek externý zdroj elektrickej energie, pri správnom napätí. To vedie k možnosti neuvažovať počas prevádzky nad nutnosťou dobíjania batérie, keďže dobiť ju môžeme aj následne po dosiahnutí cieľovej destinácie. Zároveň si udržiava výhody full hybridov. To znamená, že pri tejto koncepcii môžeme využiť kapacitu akumulátora na čo najdlhšiu vzdialenosť a následne pri potrebe pokračovať ďalej sa spustí spaľovací motor, ktorý umožní pokračovať až na miesto, kde bude možné opäť umožniť proces dobíjania. Tento koncept zároveň môže uplatňovať rovnaké princípy z hľadiska dobíjania počas prevádzky, čím sa opäť rozširujú scenáre pre efektívne využitie takejto pohonnej jednotky ako celku. [4]

3. Návrh hybridnej pohonnej jednotky pre Straton D7

Pri navrhovaní riešenia vylepšenia akejkoľvek súčasti je nutné uvažovať nad tým, či je smer, ktorý je cieľom úpravy, zhodný s potrebami daného stroja. Straton D7 ako experimentálny letún má svoje základné vlastnosti, ktoré môžu výrazne oponovať poskytovaným výhodám hybridnej pohonnej jednotky. Je dôležité sa preto zamyslieť a vybrať koncepciu, ktorá bude dávať zmysel vzhľadom na predispozíciu letúna.

Straton D7 je experimentálne ultraľahké lietadlo v podobe motorového klzáku. Jeho autorom je firma ProFe, ktorej zakladateľmi boli v roku 1992 Václav Brandejs a Ivan Brandejs. Lietadlo sa dodávalo vo forme tzv. stavebnice, kedy záujemca dostal lietadlo v neposkladanom stave a musel si ho za relatívne jednoduchého postupu poskladať v rámci svojho priestoru

a času v garáži, hangári alebo inom vhodnom priestore. Doba potrebná na kompletizáciu stavebnice bola v rozmedzí 250 až 300 človek/hodín práce. Následné zloženie alebo rozloženie pre jednoduchý presun zvyčajne netrval dlhšie ako 30 minút. Je priamym predchodcom vylepšenej verzie D8, ktorý primárne bol mierený na americký trh a bol dodávaný firmou Aero Dorvron. Cieľom bolo dosiahnuť na pilotov so záujmom o vlastné lietadlo a možnosť samostatného lietania za dostupnú cenu. Väčšinou časť výroby sa konala v Českej republike, v respektíve koncept prvý lietajúci model D7 pochádza z roku 1988, čiže sa jednalo ešte o Československo. [7]



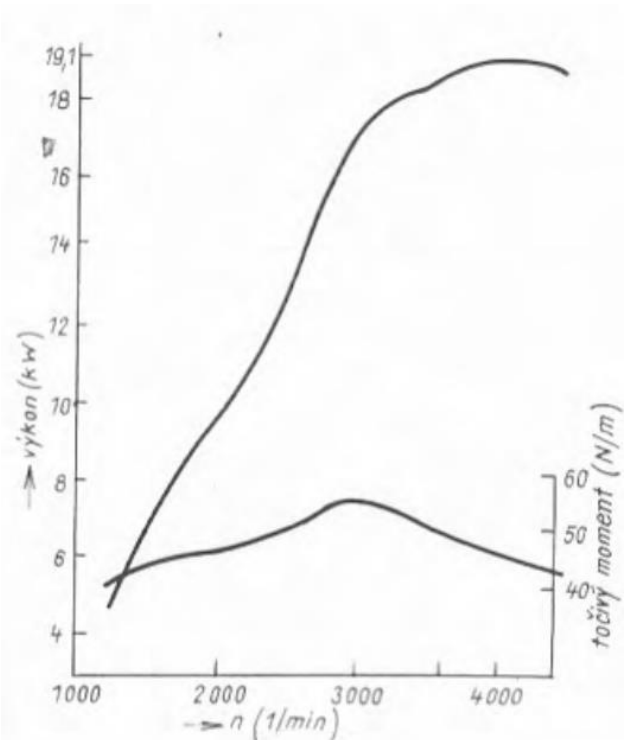
Obrázok 4: Experimentálny letún Straton D7 [7]

3.1. Piestový spaľovací motor

Ako popisuje predchádzajúca časť práce, existovalo viac variant pre pohon letúna Straton D7 v podobe troch rôznych výrobcov. Všetky tri varianty však spája ich spôsob práce zapaľovania, kedy sa jedná o dvojtaktné motory. Výkonnejším variantom bol motor Rotax 447, ktorý poskytoval maximálny výkon pre vzlet 40 konských síl. Avšak originálnou verziou vzhľadom na pôvod tohto letúna je použitie upraveného motora Trabant P63 s o niečo nižším výkonom.

Technické špecifikácie motora Trabant P63: [8]

- Dvojtaktný zážihový motor
- Radový dvojvalcový motor
- Zdvihový objem 594,5 cm³
- Hmotnosť 56kg
- Kompresný pomer 7,6:1
- Výkon 25 konských síl pri 4200 otáčkach za minútu
- Chladenie vzduchom
- Pomer výkon/váha 0,45 konskej sily na kilogram



Obrázok 5: Diagram výkonu v kilowattoch a točivého momentu v newtonmetroch motora Trabant P63 vzhľadom na otáčky za minútu [8]

Z hľadiska výkonnosti je motor Rotax 447 lepším variantom vo všetkých smeroch. Nájde sa však modely Stratonu D7 aj s inými spaľovacími motormi. Populárnou verziou je motor Rotax 503, ktorý v rámci svojho skladania tohto letúna dokázali jemnou úpravou doručiť Stratonu D7 vyšší výkon. Vo všeobecnosti prebiehali úpravy, ktoré často nezodpovedali pôvodným plánom výrobcu, ktoré následne si majitelia akéhokoľvek použitia tohto letúna vzhľadom na to, že už vo svojej pôvodnej verzii je nutné obmedziť použitie vzhľadom na hmotnosť pilota. O možnosti užitočného nákladu sa takmer vôbec nedá uvažovať.

3.2. Hybridizácia pohonnej jednotky

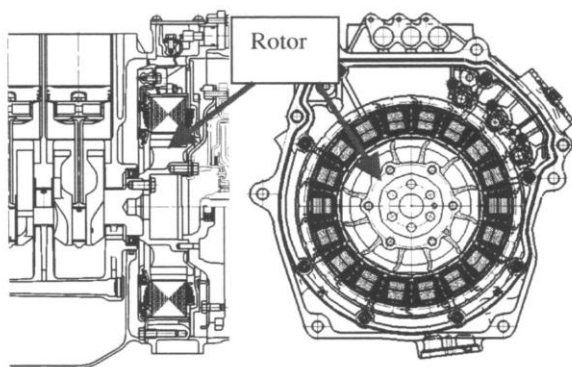
V teoretickej časti popisu hybridných pohonných jednotiek je spoločným denominátorom hmotnosť takéhoto systému. Ako zobrazujú technické parametre Stratonu D7, je práve tento parameter kľúčový pre možnosti akéhokoľvek použitia tohto letúna vzhľadom na to, že už vo svojej pôvodnej verzii je nutné obmedziť použitie vzhľadom na hmotnosť pilota. O možnosti užitočného nákladu sa takmer vôbec nedá uvažovať.

3.2.1. Integrovaný Motorový Asistent

Návrh riešenia hybridizácie pohonnej jednotky Stratonu D7 je založený na koncepte vyvinutom na konci dvadsiateho storočia pre automobilový priemysel. Je ním koncepcia Integrovaného Motorového Asistentu (IMA), ktorý uplatnila spoločnosť Honda pri snahe o dosiahnutie pokroku v automobilizme v smere výrazného zníženia spotreby paliva. Prvá verzia z roku 1999 bola založená na využití štvortaktného radového trojvalcového motora s cieľom znížiť spotrebu paliva vzhľadom na vzdialenosť o 50%, čo bolo pri daných režimoch prevádzky úspešne dosiahnuté, kedy hmotnosť systému nepresiahla 10% hmotnosti

kompletizovaného automobilu. Práve druhá časť je viac než kľúčovým prvkom pre využitie koncepcie pre návrh pohonnej jednotky Stratonu D7. [21]

Návrh pohonnej jednotky je konfigurovaný nasledovne. Piestový spaľovací motor Trabant P63 je hlavný zdroj výkonu. Elektrická zložka má doplnkovú asistenčnú funkciu na obmedzený čas, čo nám umožňuje navrhovať riešenie dostatočne kompaktné a ľahké vzhľadom na nutnosť pridania batérie, elektrického stroja (motor-generátor) a riadiacej jednotky, kedy nepožadujeme od elektrickej časti schopnosť poháňať letún samostatne v akejkoľvek fáze prevádzky. Znamená to, že sa bude jednať o mild hybrid. Funkciu elektrického stroja zastáva bezkartáčový motor na báze jednosmerného prúdu v troch fázach. Ten je umiestnený medzi spaľovací motor a vrtuľu na ich spoločný hriadeľ. Má dve funkcie, prvou je prenášať výkon na hriadeľ a asistovať svojim výkonom pri vzlete, druhá je zabezpečovať možnosť rekuperácie energie. Skladá sa z rotora v podobe permanentného magnetu, ktorý je spojený s hriadeľom a otáčky sa zhodujú s otáčkami vrtule. Stator je v rozdelenej podobe, kedy cievky sa nachádzajú v kruhovom usporiadaní v blízkosti krútiaceho sa hriadeľa so statormi.



Obrázok 6: Schéma rezu radového motora Honda, pohľad na konštrukciu Integrovaného Motorového Asistenta [9]

To, ktorý mód je v danom bode aktívny, musí byť riadený prepínateľnou riadiacou jednotkou. Tá má za úlohu zároveň aj sledovať stav batérie do doby, kým je možné z nej čerpať energiu. Je napájaná z 12V batérie a musí byť umožnené jej chladenie.

K dispozícii musí byť samozrejme ďalej aj samotný akumulátor, ktorý bude možné dobíjať a vybíjať. Proces dobíjania je možný realizovať počas dvoch fáz. Jednoduchším riešením je rekuperácia energie počas doby, kedy potrebujeme vrtuľu spomaliť a zastaviť. To, koľko energie vieme takto získať, môžeme zistiť na základe vzťahu (2) pre výpočet kinetickej energie pre otáčavý pohyb:

$$E_r = \frac{1}{2} * I \omega^2 \quad (2)$$

kde:

E_r – kinetická energia otáčavého pohybu

I – moment zotrvačnosti

ω – uhlová rýchlosť

Hodnotu kinetickej energie otáčavého pohybu v Jouloch je následne potrebné premeniť na vypovedajúcu jednotku. Použijeme vzťah pre prepočet na kilowatthodiny, ktoré budú kľúčové pri výbere akumulátora a možnosti využitia tejto energie na pohon letúna. Ak vezmeme do úvahy vrtuľu s hriadeľom s ich celkovou hmotnosťou a polomerom otáčania v závislosti od dĺžky vrtule, vieme pomocou použitia rôznych variant získať k dispozícii množstvo energie. Pri prepočte musíme ukrátiť tieto hodnoty o odhadované účinnosti motor-generátora a riadiacej jednotky. Pri predpoklade účinnosti motor-generátora na úrovni 90,25% [18] a pristávacej procedúry s rôznymi otáčkami vrtule, sa môžeme dostať na hodnoty uvedené:

	Materiál	Otáčky (rpm)	Hmotnosť (kg)	Dĺžka (m)	Er (kWh)
Vrtuľa A	drevo	4200	6	1,2	0,23
Vrtuľa B	drevo	3200	7,25	1,6	0,29
Vrtuľa C	karbón	4000	1	1,3	0,04
Vrtuľa A	drevo	2100	6	1,2	0,05
Vrtuľa B	drevo	1600	7,25	1,6	0,07
Vrtuľa C	karbón	2000	1	1,3	0,01

	Er (kWh)	Er skut (kWh)
Vrtuľa A	0,23	0,21
Vrtuľa B	0,29	0,26
Vrtuľa C	0,04	0,04
Vrtuľa A	0,05	0,05
Vrtuľa B	0,07	0,06
Vrtuľa C	0,01	0,01

Obrázok 7: Tabuľka vypočítaných hodnôt a ich prepočet

Využitie kinetickej energie vrtule a jej hriadeľa v dobe, kedy máme záujem ich už len zastaviť, však nie jediná zložka možnej rekuperácie energie. Druhá zložka je však o čosi komplexnejšia z hľadiska samotných spôsobov ovládania lietadla. Počas doby, kedy vrtuľové lietadlo klesá sa vrtuľa môže dostať v rámci svojich režimov do autorotačného alebo až brzdiaceho režimu, kedy sa podieľa na odpore letúna ako celku bez akejkoľvek kladnej vlastnosti voči výkonu, rýchlosti a podobne. To nám dáva priestor využiť takúto premrhanú energiu opäť na dobíjanie akumulátorov. Môžeme vrtuľu začať využívať ako formu turbíny, poháňaná práve v rámci práce svojich režimov, prúdiacim vzduchom, ktorý sa tak či onak pokúša spomaľovať letún.

Problémom kvantifikovať, aký konkrétny zisk vieme z takejto idey dostať, je samotná koncepcia predaja Stratonu D7. Keďže sa jedná o letún predávaný v podobe, kedy majiteľ si ho skladá po vlastnej osi, aerodynamické vlastnosti sa môžu výrazne líšiť. Výrazným vplyvom prispieva dizajn vrtule, ktorá môže byť koncipovaná práve podľa potrieb na možnosť využitia brzdiaceho režimu, avšak môže byť jej koncepcia mierená aj úplne opačným smerom. Preto na zistenie, aký vplyv by malo využitie takejto rekuperačnej koncepcie je potrebné mať aspoň zmenšený model Stratonu D7, ktorý by mohol odhaliť jeho vlastnosti. Keďže takýto model nie je k dispozícii, musíme sa oprieť o dáta získané pri inom skutočnom teste a pokúsiť sa o pomerné prenesenie hodnôt smerom na náš experimentálny letún.

Na konci roku 2017 bol ukončený výskum koncepcie rekuperácie energie počas vykonávania okruhu v rámci letiska. Pozostával z trate, kedy po vzlete počas vykonávania okruhu pilot nastúpil do výšky 1000 stôp a vykonal okruh s tým, že následné klesanie prebiehalo s nečinným spaľovacím motorom s rôznymi modelmi vrtúľ a rôznymi rýchlosťami klesania. Pri tomto výskume bola

analyzovaná nie len rekuperovaná energia, ale aj potrebná energia na vykonanie stúpania. Výskum potvrdzuje, že takéto riešenie za použitia vrtule umožňujúcej dosiahnuť režim, kedy ju môžeme využiť ako alternatívnu turbínu, dokázal prinavrátiť do batérie 12% potrebného výkonu pre vykonanie okruhu s dosiahnutou výškou 1000 stôp pri klesaní s hodnotou 700 stôp za minútu. [10]

Uplatnenie pre Straton D7 za týchto okolností je prinajmenšom zaujímavou voľbou. Ak by sme mali vyčíslieť potenciál tohto riešenia, musíme sa jedine oprieť o prepočet dosiahnutia tej istej výškovy hladiny s našimi údajmi. Pri Stratone D7 môžeme počítať, že dokáže stúpať 550 stôp za minútu, čo pri výkone 25 konských síl/18,65 kilowattu sa rovná potrebnej energii o hodnote 0,565 kilowatthodín. Ak uvažujeme s efektívnosťou riešenia podloženého experimentom za použitia vrtule Pipistrel EA-002, návrhom by sme mohli získať pre budúce použitie elektromotora 0,0678 kilowatthodín energie.

Aby sme dokázali ale využiť túto dostupnú energiu na zrekuperovanie, je nutné použitie akumulátora, ktorý kapacitou, hmotnosťou a vlastnosťami vyhovuje požiadavkám. Vzhľadom na je potrebná batéria, ktorá svojou kapacitou dokáže obsiahnuť súčet výsledkov našich uvažovaných rekuperovaných energií. Pre správnu správne zaobchádzanie je našim cieľom nepresiahnuť 80% nabitia batérie kvôli udržovaniu ideálnej životnosti. Na základe toho batéria je modelovaná na kapacitu dvojnásobnú voči súčtu rekuperačných variant o celkovej hodnote 0,22kWh.

Typ batérie	Olovená batéria	NiCd batéria	NiMH batéria	Li-ion - Kobalt	Li-ion - Mangán	Li-ion - Fosfát
Špecifická energia	50 Wh/kg	80 Wh/kg	120 Wh/kg	190 Wh/kg	135 Wh/kg	120 Wh/kg
Rekuperácia vrtuľa	50 Wh	50 Wh	50Wh	50 Wh	50 Wh	50 Wh
Rekuperácia klesanie	67,8 Wh	67,8 Wh	67,8 Wh	67,8 Wh	67,8 Wh	67,8 Wh
Min. hmotnosť batérie	4,4 kg	2,75kg	1,83kg	1,16kg	1,63kg	1,83kg

Obrázok 8: Tabuľka pre dimenzovanie batérie

3.3. Výsledný návrh

Na základe uvedených údajov, pomocou uplatnenia všetkých predchádzajúcich teoretických poznatkov, predchádzajúcich výskumov a našich prepočtov, náš výsledný návrh hybridnej pohonnej jednotky poskytuje sa skladá zo spaľovacieho motora Trabant P63, ku ktorému je paralelne pripájaná zložka elektrickej energie, poskytujúca asistenciu v podobe 10% výkonu (1,9 kilowattu), čím sme dosiahli stupeň hybridizácie 6,67%, čím sa radí tento návrh medzi klasické rozpätie stupňa hybridizácie pre mild hybridy. Zvýšenie výkonu je následne prevedené do zlepšenia výkonnosti letúna vzhľadom na potreby vzletu na obmedzený čas, kedy pri plnom nabití dokáže takýto systém poskytovať výkon navyše po dobu maximálne 222 sekúnd pri predpoklade použitia správnej vrtuľovej koncepcie a pristáť s otáčkami vrtule rovnej polovičným maximálnym otáčkam. Potrebný elektrický stroj zastávajúci funkciu motor-generátora bezkartáčovej koncepcie s jednosmerným prúdom. Pri požadovanom dodávanom výkone 1,9 kilowattu môžeme očakávať hmotnosť v okolí 12 kilogramov. [35] Pri použití NiMH batérie, ktorá bola súčasťou pôvodného technického riešenia IMA, môžeme rátať s ďalším navýšením hmotnosti o 1,83 kilogramu.

Kvôli technickým zmenám vieme bez nutnosti experimentu pomenovať nastávajúce zmeny v technickej špecifikácii letúna a nasledovných nových limitácii:

- Suchá hmotnosť letúna 127 kilogramov
- Maximálna vzletová hmotnosť 213 kilogramov pri konštrukčnej úprave pevnosti konštrukcie letúna môže byť zvýšená
- Pri dodržaní danej maximálnej vzletovej hmotnosti je priestor pre palivo spaľovacieho motora, pilota a jeho prípadnej batožiny 86 kilogramov
- Pri plnej nádrži je nutné obmedziť hmotnosť pilota a jeho batožiny na 71 kilogramov, prípadne naopak zmenšiť maximálne množstvo paliva pod hodnotu plnej 19 litrovej nádrže.

Je nutné taktiež pri prevádzke uvažovať aj nad ďalšími vplyvmi takéhoto zásahu do letúna, kedy je možné očakávať ďalšie vplyvy na potrebnú dĺžku pristávacej dráhy, zmeny spôsobu riadenia letúna kvôli ovládaniu prepínača motorového módu nabíjania alebo vybíjania batérie, potrebný ukazovateľ stavu nabitia batérie, a iné ďalšie vplyvy potrebné pre kompletizáciu a komfortné zaobchádzanie s týmto konceptom pre pilota letúna

4. Záver

Pri návrhu riešenia hybridizácie pohonnej jednotky sa postupovalo na základe nadobudnutých informácií z oblasti minulých aj aktuálnych pohonných ústrojenstiev v rámci leteckej aj automobilovej dopravy.

Na základe zistení o technológiách hybridizácie pohonných jednotiek a obzvlášť predchádzajúcich skúseností automobilového priemyslu sa dospieva k záveru, že práve technológia Integrovaného Motorového Asistenta je vhodnou voľbou vo viacerých aspektoch. Tými boli v prvom rade možnosť zabudovania tejto koncepcie do už existujúceho spaľovacieho motora bez nutnosti vážneho zásahu do architektúry motora, ale iba zásahu v podobe nadstavby. To samozrejme je priamo naviazané na požiadavku udržania nízkej hmotnosti pridaných zariadení, vzhľadom na zistenie malého hmotnostného priestoru Stratonu D7 pre umožnenie bezpečného vzletu.

Výkon poskytovaný elektrickou časťou je využitý podľa návrhu pre navýšenie pohonneho ústrojenstva letúna na obmedzený čas počas vzletu. Takáto úprava poskytuje vylepšenie výkonnostných vlastností letúna. Avšak pri návrhu sme dospeli aj k záveru, kedy by bolo možné dimenzovať elektrickú zložku motora tak, aby sme miesto samotného zvýšenia výkonu sa zamerali na zvýšenie spoľahlivosti spaľovacieho motora a zníženie mechanického opotrebenia vďaka zníženému nároku na výkon spaľovacieho motora.

I keď je letún Straton D7 nie úplne relevantný z hľadiska komerčného lietania, návrh slúži ako dôkaz, že hybridizácia pohonnej jednotky je možná pre rôzne lietadlá na ponúkanom spektre s cieľom skutočného zlepšenia vo faktoroch zaujímavých pre leteckú dopravu. Je v budúcom záujme leteckej dopravy ako celku pracovať na vývoji týchto technológií, keďže aktuálny smer vývoja v automobilovom priemysle sa tiež dlhodobu venuje tejto oblasti s dosiahnutím výrazných krokov z hľadiska efektívnosti a úspornosti ich pohonných jednotiek ako celku.

Referencie

- [1] MANZIE, Chris. WATSON, Harry. HALGAMUGE, Salan (2007). Fuel economy improvements for urban driving: Hybrid vs. intelligent vehicles. Dostupné v: Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2007, roč.15, č.1, s. 1-16. ISSN 0968-090X
- [2] OLSEN, John. PAGE, John. (2014). Hybrid powertrain for light aircraft. Int. J. of Sustainable Aviation. 1. 85 - 102. 10.1504/IJSA.2014.062871.
- [3] VLK, František, (2004). Alternativní pohony motorových vozidel. Brno: Vydavatelství František Vlk. ISBN 80-239-1602-5.
- [4] GOVARDHAN, Ojas M., (2017). Fundamentals and Classification of Hybrid Electric Vehicles. Dostupné v: International Journal of Engineering and Techniques. 2017, roč.3, č.5, s. 194-198. ISSN 2395-1303
- [5] CARDOSO, Daniel S., FAEL, Paulo O., ESPÍRITO-SANTO, António (2020). A review of micro and mild hybrid systems. Dostupné v: Energy Reports. 2020, roč.6, č.1, s. 385-390. ISSN 2352-4847
- [6] STARK, Anthony. (bez dáta). *What is the difference between micro, mild, full and plug-in hybrid electric vehicles*. Online. In: x-engineer.org. Dostupné na: <https://x-engineer.org/micro-mild-full-hybrid-electric-vehicle/>[citované 2024-4-20].
- [7] MLÝNEK. R. (bez dáta). Osemdesiaty štvrtý diel fotopohľadov do histórie Letiska Košice: ultraľahký Straton D7. Online. In: [airportkosice.sk](https://www.airportkosice.sk/sk/precestujucich/aktuality/osemdesiaty-stvrty-diel-fotopohladov-do-historie-letiska-kosice). Dostupné na: <https://www.airportkosice.sk/sk/precestujucich/aktuality/osemdesiaty-stvrty-diel-fotopohladov-do-historie-letiska-kosice> [citované 2024-4-20].
- [8] ŠLEHOFER, Vlastislav, (1984). Údržba a opravy vozů Trabant 601. Praha: SNTL, 04-238-84
- [9] AOKI, Kaoru a kol., (2000). Development of Integrated Motor Assist Hybrid System: Development of the "Insight", a Personal Hybrid Coupe. Dostupné v: SAE Transactions, 2000, č.109, s. 1883-1890.
- [10] ERŽEN, David a kol. (2017). D 1.1 ENERGY RECUPERATION, Ref. Ares(2018)56659 - 05/01/2018



NEW GENERATION AIRCRAFT CONCEPTS AND ASSESSMENT OF THEIR DESIGN SOLUTIONS

Robert Matzenauer
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The bachelor thesis is focused on new generation aircraft concepts, analysing new design solutions and technologies. At the same time, the thesis assesses the current state of development of aviation technology and prospectively presents new facts that can be expected in the near future in the context of civil aviation. In the perspective of new design solutions for transport aeroplanes, it first analyses the advantages resulting from a new type of blended wing body and transonic truss-braced wing design. In the context of conventional configuration aeroplanes, it discusses aeroplanes from the private jet sector and one specific piston engine aeroplane that competes with small jets in terms of its performance characteristics. The thesis also deals with urban air mobility, in the form of eVTOL flying vehicles, which aim to provide air transport in large cities and then compares them with each other in terms of their operational parameters. Finally, the thesis discusses the potential return of supersonic air transport, in the form of a new supersonic transport aircraft.

Keywords

Blended wing body, Transonic truss-braced wing, Urban air mobility, eVTOL.

1. Úvod

Letectvo, rovnako ako aj každý iný druh dopravy, sa ocitá v pozícii, kedy musí brať do úvahy jeho efektívitu a dopad na životné prostredie. Jedným z hlavných, neustále opakujúcim sa znakom pri analýze lietadiel novej generácie, bola práve snaha o vytvorenie, čo možno „najčistejšej“ leteckej dopravy. Európsky parlament usiluje o dosiahnutie neutrálnych emisií do roku 2050, čo znamená, že aj letecká doprava, ktorá je momentálne zodpovedná za 4% vypustených emisií ročne, musí na túto požiadavku začať reagovať. Keď sa do tejto problematiky nazrie hlbšie, dôjde sa k záveru, že jedným z hlavných problémov, ktorý ide ruka v ruku so znižovaním emisií, je otázka, ako znížiť spotrebu paliva. Tým, že sa zníži spotreba paliva, zníži sa aj množstvo úniku CO₂ do atmosféry, a zároveň sa tak prevádzková cena lietadla zníži, čo je pre leteckých dopravcov veľmi lukratívna záležitosť. Reakcia výrobcov lietadiel na túto požiadavku je rôznorodá. Niektorí sa vydali cestou vývoja nových konštrukcií, ktoré umožnia väčšiu efektívitu, ako napríklad Airbus alebo Bombardier a ich koncept blended wing body letúna. Avšak ideálnym prípadom by boli lietadlá na elektrický pohon, nakoľko také lietadlá neprodujú žiadne emisie a dobíjanie batérií, je z dlhodobého hľadiska lacnejšie ako konvenčné palivá, využívané v súčasných prúdových motoroch. Problém však nastáva v súčasnom stave elektrických batérií. Momentálne, lietadlá na elektrický pohon limituje nízka kapacita batérií, vďaka ktorej majú takéto lietadlá len veľmi krátky maximálny dolet, nepoužiteľný v kontexte dopravných letúnov civilného letectva. Preto sa do popredia dostávajú lietajúce prostriedky eVTOL, ktoré si budujú zázemie v mestskej a medzimestskej doprave na krátke vzdialenosti. Existuje však aj iný spôsob ako podstatne znížiť emisie, a to pomocou nového druhu paliva, tzv. 100% SAF. Väčšina letúnov novej generácie má pohonné jednotky navrhované tak, aby boli kompatibilné aj

s týmto palivom. Bakalárska práca sa venuje aj nadzvukovému letúnu Boom Overture, ktoré má v budúcnosti používať práve tento typ paliva, a navrátiť tak civilnú nadzvukovú leteckú dopravu späť na oblohu. V práci jednotlivé lietadlá z jednotlivých kategórií analyzujeme na základe ich technických parametrov.

2. Metodika a metódy skúmania

V tejto práci je dominantná analýza súčasného stavu vývoja lietadiel novej generácie a ich následná komparácia na základe informácií, dostupných z viacerých zdrojov. Na začiatku práce bolo treba definovať niekoľko základných termínov, ktoré sa v práci často opakujú a je potrebné im najskôr dobre rozumieť, za účelom vhodného uvedenia čitateľa do riešenej problematiky. Postup výberu vhodných lietadiel bol kľúčový. Ten začal prostredníctvom skúmania leteckých medzinárodných expozícií, v ktorých výrobcovia predstavujú nové koncepty a odhaľujú svoje plány do budúcnosti. Bolo potrebné si uvedomiť, že civilné lietadlá sa ako celok, delia do viacerých kategórií, ako napríklad súkromné prúdové letúny, dopravné lietadlá, lietadlá všeobecného letectva, či UAM, a aby na záver nedošlo k analýze a porovnávaniu subjektov z rozdielnych kategórií, nakoľko takéto porovnanie, by viedlo k chybným predstavám a skreslenému pohľadu na danú problematiku. Tiež bolo potrebné brať ohľad na realistikosť, a štádium vývoja daného konceptu. Nie je vhodné robiť analýzu konceptu, ktorý je iba na papieri a nie je podložený žiadnymi reálnymi faktami, získaných či už pri testovacích letoch skutočného zhotoveného konceptu v pravej mierke, testovacích letoch letúnov v zmenšenej mierke.

Ďalším krokom, potom čo výber lietadiel bol uzavretý, bolo treba hľadať adekvátne zdroje. Je treba podotknúť, že nie všetky informácie boli v jednotlivých zdrojoch jednotné, a preto bolo

potrebné, si tieto informácie overiť z viacerých zdrojov, a najst tie hodnoty, ktoré sa opakujú vo viacerých overených zdrojoch, prípadne priamo v technických špecifikáciách lietadla zverejnených výrobcom. Ďalšou fázou, bolo využitie našich teoretických poznatkov, a ich aplikovanie na analýzu jednotlivých lietadiel. V tejto analytickej časti sme sa venovali najmä tomu, čo nové dané lietadlo prinesie do letectva, ako aj inovácie a nové technológie, ktoré boli použité pri navrhovaní daných lietadiel. Po tom, čo analytická časť bola u konca, tak sme mohli pokračovať samotnou vzájomnou komparáciou vybraných lietadiel spadajúcich pod rovnakú kategóriu. Táto komparácia bola zhotovená na základe predošlej analýzy prevádzkových hodnôt vybraných lietadiel, v ktorej sme na záver vyjadrili aj vlastný názor na danú problematiku.

3. Výsledky

3.1. Airbus MAVERIC

Airbus je známy svojou snahou o dosiahnutie čo najefektívnejšej a najekologickejšej leteckej dopravy. V tejto snahe pokračuje aj koncept "MAVERIC". Jedná sa o civilné dopravné lietadlo, ktoré je však konštrukčne riešené ako takzvané *blended wing body*, skrátene BWB, prípadne tiež *hybrid wing body* skrátene HWB. Princíp tohoto typu konštrukcie je, že potrebný vztlak je generovaný po celej ploche trupu, ako aj krídel, ktoré ako názov naznačuje, nemajú jasne definovateľné, kde koreň krídla končí a kde už začína trup [1]. Jednoducho splývajú spolu, čo má za výsledok veľmi aerodynamicky čistú konštrukciu. Druhou výhodou je, že do veľmi značnej miery eliminuje parazitický odpor, ktorý sa tvorí najmä na rozhraní krídla a trupu, vplyvom prúdenia vzduchu okolo tohto rozhrania. Preto môžeme predpokladať, že sa celková spotreba a finančné náklady na prevádzku tohto lietadla podstatne znížia, na rozdiel od ostatných konvenčných konštrukčných riešení [2].

Airbus predvída, že koncept MAVERIC by mohol priniesť až 20 percentnú úsporu paliva [3], a zároveň svojim netradičným tvarom, ktorý umožňuje rozličné potenciálne priestrannejšie rozloženie sedačiek, poskytujúce väčší komfort pre pasažierov alebo z opačného uhla pohľadu, vďaka väčším priestorom kabíny, by mohlo do nej byť možné umiestniť viacej sedačiek, a tak podstatne zvýšiť kapacitu cestujúcich. Zatiaľ sa Airbus vyjadril, že MAVERIC má byť predbežne *single-aisle aircraft* [3], v preklade kabína v usporiadaní s jednou uličkou, avšak existuje aj niekoľko vizualizácií, ako by mohol vyzeráť interiér kabíny aj s inými konfiguráciami sedačiek.

V júni roku 2019, došlo k prvému letu zmenšeného prototypu lietadla, v rozmeroch 2 metre na dĺžku a 3 metre na šírku. Cieľom bolo demonštrovať, a lepšie pochopiť letové vlastnosti takejto konštrukcie a vnuknúť nové myšlienky na to, ako tento koncept vylepšiť. Hlavnou podstatou bolo aj testovanie letových vlastností v malých rýchlostiach, ako aj charakteristiku pádu pri kritických uhloch nábehu.



Obrázok 1. Vizualizácia Airbus MAVERIC

3.2. Bombardier EcoJet

Bombardier, v roku 2023, odhalil svoj nový koncept s názvom EcoJet. Podobne ako Airbus s ich projektom MAVERIC, aj Bombardier vidí veľký potenciál práve v BWB dizajne, a tiež sa vydal touto cestou, nakoľko benefity, ktoré tento typ konštrukcie poskytuje, sú oproti dnešným konvenčným lietadlám obrovské. Cieľom projektu Bombardier EcoJet je ten, aby sa tvorba emisií pri prevádzke tohoto letúna znížila až o 50% oproti svojim predchodcom v sektore business prúdových lietadiel [4].

Stephen McCullough, vice-prezident pre konštruovanie a vývoj produktov pre Bombardier sa vyjadril, že tento značný pokles spaľovania paliva o spomínaných 50%, vďaka z dvadsiatich percent aerodynamickému tvaru lietadla, z ďalších 20% použitej pohonnej jednotky, a z posledných 10%, kvôli iným prostriedkom vrátane nových technológií na úsporu hmotnosti [5]. Bombardier sa vyjadril, že ich ultimátny cieľ, je dosiahnuť takzvané *net-zero* emisie, do roku 2050.



Obrázok 2. Vizualizácia Bombardier EcoJet

3.3. Boeing TTBW SUGAR Volt

Na väčšiu efektivitu a nižšie prevádzkové náklady leteckej dopravy, je zameraná samozrejme aj spoločnosť Boeing. V spolupráci spolu s NASA, v roku 2010, prišli s myšlienkou na konceptom nového typu krídla, tzv. *Transonic Truss-Braced Wing*. Koncept bol ďalej v udržiavaný v tajnosti, až do januára

roku 2019, kedy Boeing oficiálne odhalil tento dizajn verejnosti, pod názvom „SUGAR Volt“, akronymom pre celý názov Subsonic Ultra Green Aircraft Research [6].

Neštandardným prvkom je dvojica šikmých vzpier, ktoré podopierajú veľmi ľahké a štíhle krídla, ktoré sú špecificky navrhnuté tak, aby poskytovali čo najvhodnejší aerodynamický tvar, a umožnili tak čo najmenšiu možnú spotrebu paliva. Tento koncept je vyvíjaný na prevádzkové rýchlosti prakticky rovnaké, ako aj konvenčné civilné transportné lietadlá, až po rýchlosť Mach 0.8 [7]. Tento fakt, by z neho zároveň spravil aj najrýchlejší letún s výstupami na svete.

Podstatou tohto typu krídla je ten, že koncové časti krídel sú veľmi štíhle a majú veľmi malú plochu. Výhodou toho je tvorba podstatne menších vírov na koncovej časti krídel, čo má za výsledok značné zníženie tvorby indukovaného odporu. Indukovaný odpor sa prejavuje najmä pri malých rýchlostiach alebo vo vysokých výškach, kedy je uhol nábehu pomerne vysoký. Tým, že krídla s vysokým pomerom štíhlosti, nie je potrebné vystavovať takým vysokým hodnotám uhla nábehu, ako krídla so stredným alebo nízkym pomerom štíhlosti, znamená to tiež, že sú preto oveľa efektívnejšie počas vzletu, stúpania, lete v cestovnej hladine ako aj počas klesania [8].

Boeing na základe výsledkov testovania konštrukcie vo veternom tuneli tvrdí, že takéto krídlo by bolo schopné znížiť spotrebu paliva o 10 až 30% [6], a rovnako tak aj emisie v porovnaní so súčasnými *next-gen narrowbody* letúňmi ako napríklad Boeing 737 MAX či Airbus A320neo. Otázne je, kedy možno očakávať zavedenie do prevádzky. Momentálne stále ťažko povedať, no Boeing predpokladá, že to nebude skôr ako 2030-2035 [6]. Prvý skúšobný let by mal prebehnúť v roku 2028, v NASA Armstrong Flight Research Center, kde by mal následne letún podstúpiť rok letového testovania.



Obrázok 3. Vizualizácia letúna SUGAR Volt

3.4. Konvenčné konfigurácie

Pod pojmom konvenčná konfigurácia sa myslia letúny, nepohyblivými pevnými nosnými plochami, spojenými s trupom a s chvostovými plochami, v klasickom usporiadaní s horizontálnym a vertikálnym stabilizátorom.

3.4.1. Dassault Falcon 10X

Spoločnosť Dassault v 6. mája v roku 2021 spustila program Falcon 10X. Jedná sa o business prúdový letún s dlhým doletom. Dassault Falcon 10X bude poháňaný dvojicou motorov s vysokým obtokovým pomerom, Rolls-Royce Pearl 10X, ktoré lietadlu poskytnú ťah viac ako 18 000 libier. To mu umožní dosiahnuť rýchlosť MMO až 0.925 Machu, dolet 13 890 kilometrov, a dostup až 51 000 stôp [9]. Motor Pearl 10X je

navrhovaný tak, aby spĺňal požiadavku pre dosiahnutie *net-zero* emisií, a to pomocou schopnosti pracovať s 100% SAF (Sustainable Aviation Fuel) [10].

Letún Dassault Falcon 10X sa z hľadiska konštrukcie zaraďuje medzi konvenčný typ konfigurácie, s dvojicou šípovitých krídel, a horizontálnym stabilizátorom do tvaru „T“, čím sa minimalizuje tvorba odporu tým, že sa horizontálny stabilizátor nachádza mimo úplavu za krídlami, kvôli čomu sa tiež zlepšila stabilita.

Pilotná kabína letúna je vylepšená o systém DFCS (Digital Flight Control System), ktorý využíva *fly-by-wire*, čím letún ušetrí na hmotnosti, a zároveň tak zvýši bezpečnosť letu, vďaka digitálnej ochrane voči prekročeniu limitov letovej obálky. Piloti majú k dispozícii aj HUD systém FalconEye, ktorý poskytuje lepšie situačné povedomie tým, že zobrazuje letové parametre a terén, aj počas zhoršenej viditeľnosti, pomocou termálneho, ako aj možnosti nočného videnia [11]. Očakávaný vstup do prevádzky je v priebehu roka 2025.



Obrázok 4. Vizualizácia Dassault Falcon 10X

3.4.2. Otto Aviation Celera 500L

Celera 500L je letún určený na súkromnú prepravu medzi mestami za čo najmenšiu cenu. Prevádzková cena tohto letúna je iba 328 dolárov na hodinu, čo je viac ako šesťnásobne menej, ako iné letúny v rovnakej veľkostnej kategórii, ktorých cena letovej hodiny sa pohybuje v rozmedzí medzi 2 000, až 2 500 dolárov [12]. Toto drastické zníženie prevádzkových nákladov, dokáže dosiahnuť pomocou hneď niekoľkých dizajnových rozhodnutí a inovácií.

Prvou, je využitie takzvaného super-laminárneho typu konštrukcie trupu. Výhoda takejto konštrukcie spočíva v tom, že využíva fenomén v aerodynamike nazývaný takzvané laminárne prúdenie. Takéto prúdenie vzduchu je charakteristické svojím hladkým, a organizovaným prúdením vzduchu okolo povrchu objektu, čím sa vytvára menej turbulentného prúdenia, ktoré by spomaľovalo prúdenie vzduchu vo vyšších vrstvách, a tým pádom sa zníži odpor generovaný na povrchu krídla a trupu. Toto laminárne prúdenie je integrované do trupu, krídel a chvostových plôch, čím sa predpokladá zníženie odporu o 59% [13], na rozdiel od tradičných letúnov podobných rozmerov.

Druhou, je menšia spotreba paliva, ako výsledok vyššie spomínaného laminárneho prúdenia, čo z neho urobí najpriateľskejší letún, v danej veľkostnej kategórii, voči životnému prostrediu [13]. Prvá verzia letúna, bude poháňaná

kvapalinou chladeným motorom V12 RED A03, o výkone 550 konských síl, vybavený systémom FADEC. Letún vďaka nemu dokáže letieť rýchlosťou 724 kilometrov za hodinu. Dolet letúnu je 7 242 kilometrov, čo je neuveriteľný výsledok pre letún s piestovým motorom. Pre porovnanie, letún podobnej veľkosti, Piaggio P180 Avanti, má maximálny dolet 2 795 kilometrov [12]. Kĺzavosť Celera 500L dosahuje hodnotu až 22:1, čo znamená, že v prípade keby vysadil motor, letún by z výšky 30 000 stôp, dokázal doplachtiť ešte 200 kilometrov. Motor využíva palivo Jet A1 alebo biodiesel. Očakáva sa, že tento letún vstúpi do prevádzky v roku 2027 [13].



Obrázok 5. Otto Aviation Celera 500L

3.5. Urban Air Mobility

V preklade mestská vzdušná mobilita, je v súčasnej dobe veľkou témou pre dizajnérov a výrobcov leteckej techniky. Predpokladá sa, že sa výskyt UAM v prevádzke, a vo vzdušnom priestore Európy stane realitou, už v najbližších rokoch. S veľkými pokrokmi pri vývoji elektrických pohonov, a neustále sa zlepšujúcimi kapacitami nových batérií, to môže byť dokonca už o 3 roky [14]. Jedná sa o elektrinou poháňané vzdušné prostriedky so schopnosťou VTOL.

3.5.1. Vertical Aerospace VX4

Lietadlo VX4 je poháňané ôsmimi elektromotormi, ktoré poháňajú osem vrtúľ. Tie pomocou funkcie natáčania vrtúľ umožňujú lietadlu vykonať vertikálny vzlet, a následne po vzlete prejsť do režimu horizontálneho letu a pokračovať ako konvenčné CTOL lietadlá. V režime horizontálneho letu, ťah poskytuje štvorica päť-listých vrtúľ, ktoré sa nachádzajú v prednej časti pred nábežnou hranou krídla, zatiaľ čo štvôr-listé vrtule za odtokovou hranou sa sklopia do polohy tak, aby počas letu tvorili čo najmenší odpor. Chvostové plochy sú konštrukčne riešené do tvaru „V“, čím sa ušetrí na celkovej hmotnosti lietadla, nakoľko takáto konfigurácia kombinuje funkcie horizontálneho a vertikálneho stabilizátora, ako aj smerového a výškového kormidla do jedného celku [15]. Vertical Aerospace sa usiluje o certifikáciu lietadla VX4 do roku 2025 [16].



Obrázok 6. Vertical Aerospace VX4

3.5.2. Wisk Aero Cora

Firma Wisk Aero bola založená v roku 2019, ako spolupráca medzi firmami Boeing a Kitty Hawk Corporation. Cieľom tejto vzájomnej spolupráce, je vytvoriť autonómne eVTOL lietadlo, ktoré neprodukuje žiadne emisie. Hlavný účel tohto lietadla je transport cestujúcich ako aerotaxi a prepravu nákladu na krátke vzdialenosti. Projekt Cora bol prvýkrát odhalený verejnosti v roku 2018, po takmer ôsmich rokoch utajovaného vývoja [17].

Najnovší model, už šiestej generácie, bol odhalený v roku 2022. Šiesta generácia Cora je schopná plne autonómneho letu, s kapacitou až štyroch pasažierov. Toto lietadlo je schopné dosiahnuť maximálnu rýchlosť v cestovnej hladine 222 kilometrov za hodinu a má maximálny dolet 90 štatutárnych míľ (144 kilometrov). Štandardná výška v letovej hladine je predpokladaná na 2 500 až 4 000 stôp. Výdrž tohto lietadla je 19 minút letu v cestovnej hladine, s desiatimi minútami ako dostupnou rezervou. Lietadlo Cora je schopné pojať maximálne 408 kilogramov nákladu, vrátane hmotnosti dvoch pasažierov [18].



Obrázok 7. Šiesta generácia Wisk Aero Cora

3.5.3. EHang EH216-S

EHang je spoločnosť, ktorá bola založená v Guangzhou Číne, v decembri roku 2014. Zaoberá sa technológiami a vývojom autonómnych eVTOL lietadiel, za účelom sprístupniť lietanie širokej verejnosti, a zároveň umožniť veľmi rýchly transport nákladu na krátke vzdialenosti, v rámci mestských oblastí [19].

Jedná sa o eVTOL multikoptéru s kapacitou dvoch cestujúcich, poháňaná šestnástimi elektromotormi, ktoré čerpajú elektrickú

energiu z batérií, ktoré poskytujú lietadlu výdrž 21 minút, pričom opätovné nabitie batérií trvá približne 120 minút. Lietadlo dokáže prepraviť náklad s maximálnou hmotnosťou až 220 kilogramov. Čo sa týka výkonu lietadla, EH216-S je schopné dosiahnuť rýchlosť v cestovnej letovej hladine 100 kilometrov za hodinu, zatiaľ čo maximálna neprekročiteľná rýchlosť, je až 130 kilometrov za hodinu. Lietadlo dokáže dosťúpať do výšky až 9 843 stôp, čo je približne 3 000 metrov a má maximálny dolet 35 kilometrov.

Dôležitým dátumom je 13. október 2023, kedy EH216-S, po viac ako 40 000 testovacích letoch [20], ako prvý dvojmiestny autonómny eVTOL na svete, získal Production Certificate, Type Certificate, ako aj Standard Airworthiness Certificate udelený CAAC, Civil Aviation Administration of China [19].



Obrázok 8. EHang EH216-S

3.6. The Boom Overture

The Boom Supersonic je výrobca, ktorý chce do roku 2030 obnoviť nadzvukové lietanie pre komerčné účely, prostredníctvom ich nového nadzvukového letúna s názvom „Overture“. V súčasnosti objednávky podali aj spoločnosti ako United Airlines, American Airlines, či Japanese Airlines.

Overture je letún určený na veľké vzdialenosti, navrhovaný na maximálnu rýchlosť v hladine 1.7 Mach, čím sa stane na súčasnom trhu najrýchlejším letúnom v komerčnej prevádzke, o viac než dvojnásobok rýchlosti súčasných dopravných lietadiel. Letún bude schopný prepraviť iba limitovaný počet 65 až 85 cestujúcich naraz, na maximálnu vzdialenosť 4 250 námorných míľ, čo je podstatne menší dolet, ako jeho konkurencia dopravných letúnov, určených na dlhé vzdialenosti [21]. Napriek tomu, je Overture navrhovaný na viac ako 600 možných trás po celom svete, ktoré však dokáže zaletieť dva krát rýchlejšie ako hocikto iný v civilnom obchodnom letectve [21].

Letún Overture, má dvojicu delta krídel s lomeným šípom, tiež nazývané *compound delta wing*. Konce krídel sú zahnuté nadol a tvoria negatívny uhol vzopätia. To z dôvodu rovnakého ako pri Concorde, keďže krídla s tvarom delta, ktoré sú síce vhodné pre nadzvukové rýchlosti, pri vysokých uhloch nábehu, a manévroch nazývaných sklzy, produkujú príliš veľa nežiadúceho klonivého momentu a zhoršujú riaditeľnosť. Negatívny uhol vzopätia redukuje tento klonivý moment.

Boom Supersonic pre svoj nadzvukový letún, navrhlo aj vlastný prúdový motor, ktorý je optimalizovaný na využitie 100% SAF paliva. Každý jeden motor poskytuje letúnu ťah 35 000 libier [22], avšak tento motor, už nebude mať možnosť prídavného spaľovania, ako to bolo v prípade motora Olympus, ktorý poháňal Concorde. Dôvodom, okrem iného, je aj veľký hluk,

ktoré toto prídavné spaľovanie vytvára. Motor symphony bol navrhnutý tak, aby neprekročil úroveň povolenej hlučnosti, definovanej v ICAO Annex 14. Motory zároveň spĺňajú požiadavky FAA Part 33 aj EASA CS 33 [22].

22. marca 2024, prebehol prvý let prototypu Boom XB-1, čím sa zapísal do histórie, ako prvý nadzvukový letún vyvíjaný nezávisle. Let prebehol v Mojave Kalifornii, v stredisku Mojave Air & Space Port, na rovnakom mieste ako v roku 1947, kedy experimentálny letún Bell X-1, prvý krát prekročilo zvukovú bariéru. Tento letún slúži ako testovacia platforma pre kompozitné materiály, pokročilú avioniku, digitálne optimalizovanú aerodynamiku a pohonný systém, ktorý bude použitý vo finálnej verzii letúna Overture [23].



Obrázok 9. Finálny dizajn Overture

4. Záver

Ako možno pozorovať, letectvo sa ubera vpred ekologickou cestou. Zistili sme, že nové koncepty, ktoré môžeme očakávať v blízkej budúcnosti, budú oveľa efektívnejšie, čo sa týka spotreby paliva, a vďaka novým konštrukčným riešeniam ako konštrukcie *blended wing body*, ktorých sa chopil Airbus a Bombardier, s ich letúnmí MAVERIC a EcoJet. Tie využívajú spôsob znižovania tvorby škodlivého odporu, ktorý sa tvorí v najväčšom zastúpení na rozhraniach medzi krídlami a trupom. Tým znižujú svoju spotrebu paliva, v prípade Bombardier EcoJet, až o 50% oproti svojim predchodcom.

Boeing v spolupráci s NASA, zas vidí potenciál vo využití krídla TTBW, ktoré využíva princíp malého indukovaného odporu, ktorý sa tvorí na koncových častiach krídel. Ako sme zistili, rozdiel krídel TTBW, oproti konvenčným krídlam dopravných lietadiel spočíva v ich veľkom rozpätí a tvare s veľkou štiľlosťou. Čím štiľlejšie je krídlo na svojom konci, tým menšie sú aj vzdušné víry, ktoré sa okolo nich tvoria, keď sa letún pohybuje vzduchom. To znamená, že toto krídlo vytvára menej odporu, a znižuje tak spotrebu paliva, čo robí letún automaticky ekologickejšim. Boeing na základe testovania tohoto krídla vo veterných tuneloch a simuláciách došiel k záveru, že TTBW krídlo, dokáže zabezpečiť až 30% úsporu v spotrebe paliva. Boeing očakáva prvý let prototypu s TTBW, X-66A, v roku 2028. Unikátnou konštrukciou disponuje aj malý piestový letún Calera 500L, ktorý využitím super-laminárneho profilu trupu, dokáže znížiť odpor až o 59%, tvorený prúdom vzduchu v hraničnej vrstve, tesne nad profilom krídla. Vďaka tomu, že prúdnice vo vyšších vrstvách, sú podstatne menej spomaľované turbulentných prúdením, vznikajúcim počas kontaktu prúdu vzduchu s poťahom letúna, dokáže znížiť spotrebu paliva a cenu

letevej hodiny, až na 328 dolárov. Tým zníži aj tvorbu emisií, až o 80%.

Ďalším sektorom v letectve, ktorý sa začína stále viac a viac rozrastať je mestská vzdušná mobilita a lietajúce prostriedky eVTOL. Zameriavajú sa na lety na krátku vzdialenosť, najmä v rámci veľkých miest, v ktorých vedú plniť činnosť ako aerotaxi. Nie však výlučne len na prepravu cestujúcich. Lietadlá eVTOL si vedú nájsť uplatnenie aj ako transportné lietadlá, či lietadlá na pomoc pri núdzových situáciách, ako napríklad pomoc pri hasení požiarov, alebo evakuácia osôb z miest s obťažným prístupom. Pri výbere lietadiel, ktorým sa venujeme v rámci tejto práce sme zistili, že mestská vzdušná mobilita, je momentálne naozaj veľkou témou, a o získanie certifikácie sa usiluje veľa výrobcov. EHang EH216-S, je prvé dvojmiestne lietadlo eVTOL na svete, ktorému sa podarilo obdržať výrobný, typový, aj štandardný certifikát letevej spôsobilosti, vydaný CAAC, 13. októbra 2023. Ten je však uznávaný iba v rámci Číny. V závere práce sme analyzovali aj stav letúna vo vývoji, s názvom Boom Overture. Overture je letún, navrhovaný na rýchlosť v hladine Mach 1.7 čím sa stane druhým najrýchlejším civilným dopravným lietadlom na svete, aké kedy bolo v prevádzke. Prvý testovací let zmenšeného prototypu, prebehol dňa 22. marca 2024, čím sa stal ako prvým nezávisle vyvíjaným nadzvukový letúnom na svete. Test prebehol úspešne, a očakáva sa, že letún, v plnej veľkosti a finálnej forme, bude schopný podstúpiť svoj prvý let s cestujúcimi, už v roku 2029.

Pod'akovanie

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

Referencie

- [1] Simple Flying (bez dát). *SimpleFlying*. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/blended-wing-design/>. [citované 2024-02-13]
- [2] Liebeck, R. H. (2004). *Design of the Blended Wing Body Subsonic Transport*. No. 1, Vol. 41. California: Huntington Beach
- [3] Airbus (2020). *airbus*. Online. Dostupné na: <https://www.airbus.com/en/newsroom/stories/2020-11-imagine-travelling-in-this-blended-wing-body-aircraft>. [citované 2024-02-13]
- [4] Bombardier (2023). *bombardier*. Online. Dostupné na: <https://bombardier.com/en/media/news/bombardier-ramps-second-test-phase-ecojet-research-project-sees-18-foot-wide-prototype>. [citované 2024-02-16]
- [5] Ain (bez dáta). *AinOnline*. Online. Dostupné na: <https://www.ainonline.com/news-article/2023-10-19/bombardiers-ecojet-probes-fuel-saving-potential-blended-wing-body-business>. [citované 2024-02-16]
- [6] Simple Flying (2023). *simpleflying*. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/boeing-ttbw/>. [citované 2024-02-16]
- [7] FlightGlobal (2023). *flightglobal*. Online. Dostupné na: <https://www.flightglobal.com/airframers/nasa-partners-with-boeing-to-develop-11b-truss-braced-wing-demonstrator/151695.article>. [citované 2024-02-16]
- [8] Boldmethod (2022). *boldmethod*. Online. Dostupné na: <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/aircraft-systems/how-does-aspect-ratio-affect-aircraft-wings/>. [citované 2024-02-20]
- [9] Dassault (2021). *dassaultfalcon*. Online. Dostupné na: <https://www.dassaultfalcon.com/news/falcon-10x-2/>. [citované 2024-02-28]
- [10] Rolls-Royce (bez dát). *rolls-royce*. Online. Dostupné na: <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/business-aviation/pearl-10x.aspx#section-technology>. [citované 2024-02-28]
- [11] Dassault Falcon Jet A Dassault Aviation Company (bez dát). *falconjet*. Online. Dostupné na: <https://das.falconjet.com/apex/f?p=2000:2841:::NO::>. [citované 2024-02-28]
- [12] Menkor Aviation (bez dát). *menkoraviation*. Online. Dostupné na: <https://www.menkoraviation.com/en/news/otto-aviation-unveils-the-celera-500l-an-aircraft-that-can-change-everything/>. [citované 2024-04-19]
- [13] Aerospace Technology (bez dát). *aerospace-technology*. Online. Dostupné na: <https://www.aerospace-technology.com/projects/celera-500l-aircraft/>. [citované 2024-04-19]
- [14] EASA (bez dát). *easa.europa*. Online. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/urban-air-mobility-uam>. [citované 2024-03-05]
- [15] Electric VTOL News (bez dát). *evtol.news*. Online. Dostupné na: <https://evtol.news/vertical-aerospace-VA-1X>. [citované 2024-03-05]
- [16] Simple Flying (2022). *simpleflying*. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/vertical-aerospace-evtol-first-flight/>. [citované 2024-03-05]
- [17] Electric VTOL News (bez dát). *evtol.news*. Online. Dostupné na: <https://evtol.news/kitty-hawk-cora/>. [citované 2024-04-19]
- [18] Electric VTOL News (bez dát). *evtol.news*. Online. Dostupné na: <https://evtol.news/wisk-aero-generation-6>. [citované 2024-04-19]
- [19] Electric VTOL News (bez dát). *evtol.news*. Online. Dostupné na: <https://evtol.news/ehang-216/>. [citované 2024-04-19]
- [20] Simple Flying (2024). *simpleflying*. Online. Dostupné na: <https://simpleflying.com/ehang-worlds-first-commercial-air-taxi/>. [citované 2024-04-19]

- [21] Boom (bez dát). *boomsupersonic*. Online. Dostupné na: <https://boomsupersonic.com/overture>. [citované 2024-04-09]
- [22] Boom (bez dát). *boomsupersonic*. Online. Dostupné na: <https://boomsupersonic.com/symphony>. [citované 2024-04-21]
- [23] Boom (2024). *boomsupersonic*. Online. Dostupné na: <https://boomsupersonic.com/flyby/inaugural-first-flight-xb1-supersonic-demonstrator>. [citované 2024-04-22]



ANALÝZA PALUBNÉHO VYBAVENIA MODERNÝCH LIETADIEL

Martin Mikolaj
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

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

Abstract

This bachelor's thesis provides a detailed overview of the development, history and current status of aircraft on-board equipment. The first part deals with the evolution of cockpits from their origins to modern technological trends and future challenges. The next part analyzes the standards, recommendations and certification processes, with an emphasis on the ergonomics of the cockpit design and the requirements of the international organization for civil aviation. The following section addresses pilot adaptation to new cockpit systems, taking into account factors such as human factors, training and automation risks. In the end, current trends, perspectives of future development and their possible impact on pilots and flight safety are evaluated.

Keywords

On-board equipment, Aircraft, Cockpit, Aviation.

1. Úvod

S rýchlym technologickým pokrokom a neustálym vývojom v oblasti leteckého priemyslu sa stáva stále zložitejším porozumieť a prispôbiť sa novým trendom a technológiám v palubnom vybavení lietadiel. Každý let odzrkadľuje komplexnú súhrnu inovácií a štandardov, ktoré zabezpečujú bezpečnosť a efektivitu letu. Táto bakalárska práca je zameraná na vývoj, štandardy a perspektívy palubného vybavenia, pričom sa dôkladne preskúmajú nielen technologické aspekty, ale aj vplyv na pilotov a celkovú bezpečnosť letu.

Cieľom tejto práce je poskytnúť komplexný prehľad vývoja a histórie palubného vybavenia lietadiel, ako aj analyzovať súčasné trendy a perspektívy budúceho vývoja. V prvom rade sa budeme venovať detailnému preskúmaniu jednotlivých fáz vývoja palubného vybavenia od jeho skromných počiatkov až po moderné palubné systémy, ktoré sú dnes bežne používané v leteckom priemysle. Tento pohľad zahŕňa aj významné technologické trendy, ktoré formovali súčasný stav palubných systémov a naznačujú budúce možnosti v oblasti palubného vybavenia.

Druhá časť práce sa zameriava na štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie, pričom sa detailne preskúmajú normy, smernice a požiadavky kľúčových inštitúcií v leteckom priemysle. Tieto štandardy sú kľúčové pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti palubného vybavenia a ich porozumenie je nevyhnutné pre každého aktéra v leteckom priemysle.

Ďalej sa v práci zameriavame na adaptáciu pilotov na nové systémy v kokpite lietadla. V tejto časti analyzujeme ľudské faktory, školenie a výzvy súvisiace s automatizáciou palubných systémov, pričom si kladieme otázku, ako tieto faktory ovplyvňujú schopnosť pilotov riadiť a správne interpretovať nové technológie.

V záverečnej časti práce vyhodnocujeme súčasný stav palubného vybavenia a diskutujeme o perspektívach budúceho vývoja a jeho možnom vplyve na pilotov a bezpečnosť letu. Tento prehľadný a detailný pohľad na palubné vybavenie lietadiel poskytuje dôležité informácie a poznatky pre letecký priemysel a zároveň prispieva k lepšiemu porozumeniu a adaptácii na nové technológie v tejto oblasti.

2. Vývoj a história palubného vybavenia lietadiel

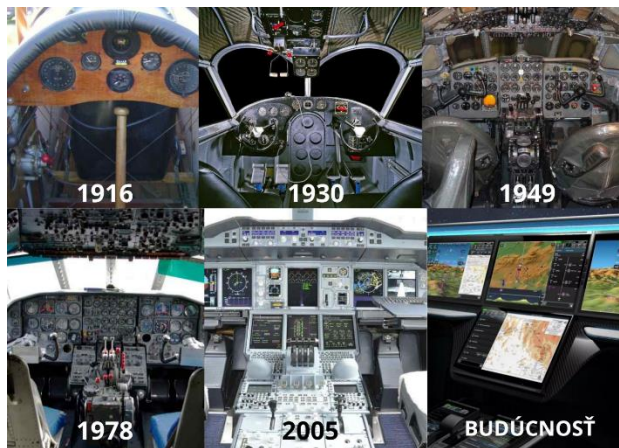
V histórii leteckej techniky sa palubné vybavenie lietadiel vyvíjalo v súlade s technologickým pokrokom a potrebami leteckej dopravy. Úvod do tejto problematiky nás zavádza do sveta avioniky, ktorá predstavuje súbor elektronických systémov v lietadlách. Medzi ne patria navigačné a komunikačné systémy, ako aj systémy riadenia letu. Tieto systémy umožňujú pilotom monitorovať a riadiť rôzne aspekty letu.

Počiatky palubného vybavenia siahajú do čias prvých letov, keď boli lietadlá vybavené základnými prístrojmi na meranie rýchlosti, výšky a smeru letu. Postupom času sa vývoj palubného vybavenia riadil historickými obdobiami, pričom sa striedali rôzne typy kokpitov. Začínali sme s analógovými kokpitmi, kde boli prístroje mechanické a informácie sa zobrazovali pomocou analógových ukazovateľov. Neskôr prišli syntetické kokpity, ktoré zaviedli digitálne displeje a umožnili zobrazenie informácií vo forme grafiky a textu. Dnešné plne digitálne kokpity predstavujú najnovšiu generáciu palubného vybavenia, kde dominujú výlučne digitálne displeje a systémy riadenia.



Obrázok 1. Typický súbor šiestich základných prístrojov "six-pack" v ľahkom lietadle. Zdroj: <https://www.jetphotos.com/> (2005)

S moderným palubným vybavením prichádzajú aj nové technologické trendy, ako sú bezpilotné lietadlá, vylepšené navigačné systémy pomocou GPS a zvýšené použitie automatizácie vo funkcii riadenia letu. Napriek tomu, že sme dosiahli významný pokrok, ešte stále čelíme výzvam. Medzi ne patria zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti systémov, ako aj optimalizácia nákladov. Budúci vývoj palubného vybavenia bude pravdepodobne smerovať k ešte väčšej integrácii a automatizácii, pričom sa bude klásť dôraz na zlepšenie výkonu a udržateľnosť. Tento neustály vývoj je kľúčovým faktorom v bezpečnosti a efektívnosti leteckej dopravy.



Obrázok 2. Vývoj palubného vybavenia podľa historických období rôznych typov lietadiel. Zdroj: <https://firstaerosquadron.com/> (2015)

3. Štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie

Štandardy a odporúčania pre palubné vybavenie sú kľúčovými piliermi leteckého priemyslu, ktoré zabezpečujú bezpečnosť, spoľahlivosť a efektívnosť leteckej dopravy. Tieto normy a smernice sa vyvíjali v súlade s technologickým pokrokom a potrebami leteckého sektora. V úvode tejto problematiky sa zameriavame na definíciu štandardov a odporúčaní, ktoré stanovujú požiadavky a normy, ktoré musia lietadlá spĺňať.

Kľúčové inštitúcie, ako je Medzinárodná organizácia pre civilné letectvo (ICAO), Európska agentúra pre bezpečnosť letectva

(EASA) a Národná letecká správa (FAA) v Spojených štátoch, majú kľúčovú úlohu pri vydávaní smerníc, noriem a regulácií, ktoré ovplyvňujú vývoj a certifikáciu palubného vybavenia. Ich úlohou je zabezpečiť, aby palubné vybavenie spĺňalo vysoké štandardy bezpečnosti a interoperability.

Medzi najdôležitejšie požiadavky patria tie, ktoré stanovuje ICAO. Tieto požiadavky sú zamerané na bezpečnosť letov, navigáciu, komunikáciu a ďalšie aspekty prevádzky lietadiel. Rozdiely v štandardoch medzi všeobecným a dopravným letectvom sú podstatné, pretože dopravné letectvo podlieha prísnejším normám vzhľadom na komerčnú prevádzku.

Ergonómia a dizajn kokpitu majú kľúčový význam pre pohodlie a efektívnosť pilotov. Štandardy a regulácie EASA definujú požiadavky na ergonómiu a dizajn palubného vybavenia, čo zabezpečuje, že piloti majú adekvátne prostredie na prácu.

Schvaľovacie a certifikačné procesy sú kritické pre získanie povolenia na používanie palubného vybavenia. Tieto procesy zahŕňajú testovanie, hodnotenie a schvaľovanie palubných systémov a komponentov, aby sa zabezpečila ich spoľahlivosť a bezpečnosť.

Výzvy, ako je rýchly technologický pokrok a potreba aktualizácie existujúcich systémov, sú stále prítomné. Preto je neustála aktualizácia a prispôbovanie sa novým trendom nevyhnutné pre udržanie bezpečnosti a efektívnosti leteckej dopravy.

Prípadové štúdie poskytujú konkrétne príklady aplikácie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie v reálnych situáciách. Tieto štúdie sú užitočné pre lepšie porozumenie implementácie a účinkov rôznych palubných systémov.

Dodržiavanie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie je kľúčové pre zabezpečenie bezpečnosti a spoľahlivosti leteckej dopravy. Ich neustále aktualizovanie a prispôbovanie novým technologickým trendom a výzvam je dôležité pre udržanie pokroku v oblasti leteckej techniky.

4. Adaptácia pilota na nové systémy v kokpite lietadla

Adaptácia pilotov na nové palubné systémy predstavuje kritický proces v modernom leteckom priemysle. Pri zavádzaní nových technológií a systémov do kokpitov lietadiel je nevyhnutné zabezpečiť, aby piloti mali dostatočnú odbornú prípravu a schopnosť efektívne pracovať s týmito novinkami. Jedným z hlavných aspektov pri tejto adaptácii je ohľad na ľudský faktor. Dôležité je, aby nové palubné systémy boli navrhnuté s ohľadom na schopnosti, obmedzenia a potreby pilotov, aby boli intuitívne a ľahko ovládateľné.

Správne školenie, výcvik a osvedčené postupy sú nevyhnutné pre úspešnú integráciu nových systémov. Piloti musia byť oboznámení s novými ovládacími prvkami a procesmi prostredníctvom simulovaných scenárov a praktického cvičenia. Dizajn používateľského rozhrania hrá kľúčovú úlohu pri uľahčovaní adaptácie pilotov, pretože intuitívne a prehľadné rozhranie zjednodušuje navigáciu a ovládanie lietadla.

Automatizácia v palubných systémoch môže znížiť kognitívnu záťaž pilotov, ale zároveň môže viesť k riziku straty situačného povedomia a manuálnych zručností. Je dôležité nájsť rovnováhu medzi úlohami vykonávanými pilotmi a automatizovanými procesmi. Interakcia medzi pilotmi a počítačmi v kokpite prináša

vlastné výzvy, ako je riziko závislosti pilotov na systémoch a nedostatočná schopnosť rýchlo a efektívne reagovať v prípade zlyhania technológie.

S automatizáciou prichádzajú aj určité riziká, a preto je nevyhnutné mať adekvátne opatrenia na riadenie a minimalizáciu týchto rizík. Budúci vývoj palubných systémov bude pravdepodobne smerovať k ďalším zlepšeniam v oblasti použiteľnosti, bezpečnosti a interoperability. S novými technológiami ako umelá inteligencia a rozšírená realita sa otvárajú nové možnosti pre inovácie v oblasti palubného vybavenia, pričom je dôležité neustále sledovať ich vplyv na pilotov a celkovú bezpečnosť letectva.

5. Vyhodnotenie a diskusia

V súčasnom leteckom priemysle je palubné vybavenie kľúčovým faktorom ovplyvňujúcim bezpečnosť, efektivitu a komfort letu. Trendy v palubnom vybavení smerujú k neustálemu technologickému pokroku a zlepšeniu funkcionalít, ktoré umožňujú pilotom lepšiu kontrolu a situačné povedomie. Súčasný stav reflektuje rastúci dopyt po integrovaných digitálnych technológiách a zvyšujúcej sa automatizácii v kokpitoch lietadiel.

S nárastom automatizácie a integrácie nových technológií môžu piloti čeliť novým výzvam, ako je potreba prispôbiť sa novým systémom a udržať si schopnosť rýchlo a efektívne reagovať na neočakávané situácie. Dôležité je mať na pamäti, že aj keď technologický pokrok prináša mnoho výhod, bezpečnosť letu musí byť vždy prioritou.

Vyhodnotenie a diskusia o súčasnom stave a budúcom vývoji palubného vybavenia nám umožňuje lepšie porozumieť trendom a výzvam, ktoré ovplyvňujú pilotov, letecké spoločnosti a celkovú bezpečnosť letectva. Je nevyhnutné sledovať a prispôbovať sa novým možnostiam a výzvam, ktoré prináša budúcnosť palubného vybavenia, aby sme zabezpečili bezpečnosť a efektívnosť leteckého priemyslu.

6. Metodika a metódy skúmania

V našej práci sme sa venovali dôkladnému prieskumu vývoja a histórie palubného vybavenia lietadiel pomocou metódy analýzy a porovnania. Tieto metódy nám umožnili komplexné a informované skúmanie problematiky palubného vybavenia lietadiel v našej bakalárskej práci. Súčasne sme zabezpečili, aby sme získali relevantné informácie z rôznych zdrojov a perspektív, čo nám umožnilo poskytnúť podrobný prehľad o vývoji, štandardoch a výzvach tejto oblasti.

Začali sme úvodom do palubného vybavenia, kde sme podrobne analyzovali oblasti ako avionika a rozhranie systémov lietadla. Následne sme sa venovali počiatočnému vývoju palubného vybavenia a jeho transformácii v rôznych historických obdobiach, od analógových kokpitov cez syntetické až po plne digitálne. Moderné palubné vybavenie sme analyzovali z hľadiska významných technologických trendov a identifikovali sme výzvy a smer budúceho vývoja.

Ďalšou dôležitou časťou našej práce bolo skúmanie štandardov a odporúčaní pre palubné vybavenie. Zaoberali sme sa nielen medzinárodnými normami, ale aj požiadavkami pre rôzne typy lietadiel, ergonómiou a dizajnom kokpitu, ako aj procesmi

schvaľovania a certifikácie. Na základe našej analýzy sme identifikovali výzvy a aktualizácie v tejto oblasti, čo nám poskytlo ucelený pohľad na regulačné aspekty palubného vybavenia.

Venovali sme sa aj adaptácii pilotov na nové systémy v kokpite. Preskúmali sme ich schopnosť prispôbiť sa novým technológiám a analyzovali sme vplyv na ľudský faktor, školenie a dizajn používateľského rozhrania. Diskutovali sme o kognitívnej záťaži a rizikách automatizácie, čo nám umožnilo získať lepší prehľad o tom, ako nové technológie ovplyvňujú pilotov a bezpečnosť letu.

Nakoniec sme vyhodnotili naše zistenia a diskutovali o súčasnom stave a trendoch v palubnom vybavení. Identifikovali sme perspektívy budúceho vývoja a analyzovali sme jeho možný vplyv na pilotov a bezpečnosť letu. Naša práca poskytla dôležité závery a odporúčania v oblasti palubného vybavenia lietadiel, ktoré môžu prispieť k lepšiemu porozumeniu tejto problematiky a podporiť ďalší vývoj v leteckom priemysle.

7. Výsledky

- Vývoj palubného vybavenia:

Palubné vybavenie lietadiel prešlo za posledné storočie dramatickým vývojom. Od jednoduchých mechanických prístrojov až po sofistikované elektronické systémy a integrované kokpity prešla avionika zásadnými zmenami, ktoré ovplyvnili spôsob lietania lietadiel.

- Štandardy a odporúčania:

Vývoj a používanie palubného vybavenia je riadené prísnyimi štandardmi a odporúčaniami stanovenými medzinárodnými a národnými regulačnými orgánmi. Tieto normy zabezpečujú bezpečnosť a spoľahlivosť palubných systémov a definujú minimálne požiadavky na palubné vybavenie pre rôzne typy lietadiel.

- Adaptácia pilotov:

Piloti sa musia neustále prispôbovať novým technológiám a palubným systémom. To si vyžaduje komplexný tréning a kontinuálne vzdelávanie, aby piloti boli schopní efektívne a bezpečne obsluhovať lietadlá s rôznym palubným vybavením.

- Vplyv na pilotov a bezpečnosť letu:

Palubné vybavenie má významný vplyv na pilotov a bezpečnosť letu. Automatizácia a pokročilé systémy riadenia letu znižujú záťaž pilotov a zvyšujú efektivitu letu. Avšak narastajúca automatizácia prináša aj nové riziká a výzvy, ako napríklad strata zručností pilotov a potreba dôkladného testovania a certifikácie palubných systémov.

- Budúce trendy:

Budúcnosť palubného vybavenia je sľubná a plná inovácií. Očakávame ďalší nárast automatizácie, integráciu umelej inteligencie, rozšírenú realitu a virtuálnu realitu, ako aj vývoj autonómnych technológií. Všetky tieto trendy budú mať hlboký vplyv na letecký priemysel, pilotov a bezpečnosť letu.

Palubné vybavenie lietadiel je kľúčovou súčasťou moderného lietania. Jeho vývoj, štandardy, adaptácia pilotov a vplyv na bezpečnosť letu sú komplexné témy, ktoré si vyžadujú neustálu

analýzu a diskusiu. V tejto práci sme sa snažili poskytnúť komplexný prehľad o týchto témach a načrtnúť perspektívy budúceho vývoja.

Okrem vyššie uvedených výsledkov môžeme spomenúť aj nasledovné:

Palubné vybavenie hrá dôležitú úlohu pri znižovaní spotreby paliva a emisií CO₂ lietadiel.

Pokročilé navigačné a komunikačné systémy umožňujú efektívnejšie riadenie letovej prevádzky a znižujú riziko kolízií.

Palubné systémy na zaznamenávanie údajov a monitorovanie letu sú kľúčové pre vyšetrenie leteckých nehôd a prevenciu budúcich incidentov.

8. Záver

V priebehu písania bakalárskej práce sme podrobne preskúmali vývoj, štandardy a perspektívy palubného vybavenia lietadiel, pričom sme sa zamerali na jeho históriu, súčasné trendy a budúci vývoj. Naším cieľom bolo poskytnúť komplexný pohľad na túto problematiku a analyzovať jej vplyv na letecký priemysel a bezpečnosť letu.

Vývoj palubného vybavenia sme sledovali od jeho počiatkov až po súčasnosť, pričom sme zohľadnili významné technologické trendy a výzvy, ktoré ovplyvňujú jeho budúci vývoj. Ďalej sme preskúmali štandardy a odporúčania, ktoré riadia vývoj a prevádzku palubných systémov, a analyzovali sme adaptáciu pilotov na nové technológie v kokpite lietadla.

Na základe našej práce sme dospeli k poznatku, že palubné vybavenie lietadiel predstavuje kľúčový prvok leteckého priemyslu, ktorý sa neustále vyvíja a prispôbuje novým technologickým trendom. Táto práca nám poskytla hlbší pohľad do problematiky palubného vybavenia a jeho vplyvu na bezpečnosť letu.

Sme presvedčení, že sme úspešne splnili cieľ práce, ktorým bolo poskytnúť prehľadný a detailný pohľad na palubné vybavenie lietadiel a jeho vývoj. Táto práca ponúka čitateľovi ucelený prehľad o tejto problematike a môže slúžiť ako zdroj informácií pre odborníkov v leteckom priemysle, študentov, ale aj širokej verejnosti.

Na záver by sme odporučili, aby letecké spoločnosti a výrobcovia palubného vybavenia sledovali aktuálne technologické trendy a prispôbili sa novým požiadavkám a štandardom v oblasti bezpečnosti a efektivity letu. Je dôležité, aby sa prax prispôbovala rýchlemu vývoju v tejto oblasti a zabezpečila tak bezpečnosť a efektívnosť leteckej dopravy v budúcnosti.

PodĎakovanie

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

Referencie

Amprius (2023). The Future of Technology of Aircraft Safety. Dostupné na: <https://amprius.com/aircraft-safety/>.

Britannica Educational Publishing, R. C. (2019). The Complete History of Aviation: From Ballooning to Supersonic Flight. Britannica Educational Publishing. ISBN 9781615307258.

Edwards, D. (2015). Cockpit Evolution – From The Beginning To Present. Dostupné na: <https://firstaerosquadron.com/2015/09/23/cockpit-evolution-from-the-beginning-to-present/>.

EUROCAE (2019). Technical Work Programme. Dostupné na: <https://www.eurocae.net/media/1636/eurocae-twp-2020-public-version.pdf>.

Fastercapital (2020). Airline Regulations. Dostupné na: <https://fastercapital.com/content/AAR-and-Airline-Regulations--Enhancing-Compliance-and-Safety.html#The-Future-of-AAR-and-Airline-Regulations.html>.

ICAO (2011). International Civil Aviation Organization. ISSN 0018 8778.

MIZRAHI, R. (2005). Dostupné na: <https://www.jetphotos.com/photo/466728>.

McKay, G. (2010). Six Pack - The Primary Flight Instruments [online]. LearnToFly.ca. [cit. 2024.3.14]. Dostupné na: <https://learntofly.ca/six-pack-primary-flight-instruments/>.

National Transportation Safety Board (2019). Response to Final Aircraft Accident Investigation Report. Ethiopian Airlines Flight 302. Boeing 737-8 MAX. Dostupné na: <https://www.nts.gov/investigations/Documents/Response%20to%20EAI%20final%20report.pdf>.

Paper, W. (2022). Future Connectivity For Aviation. Dostupné na: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137252/en>.

Pilot Institute (2023). Flight Instruments Explained – 6 pack vs Glass Cockpit. Dostupné na: <https://www.pilotinstitute.com/flight-instruments-explained-6-pack-vs-glass-cockpit/>.

Rachael (2023). Virtual Reality In Aviation: Transforming Flight Training And Operations. Dostupné na: <https://drawandcode.com/learning-zone/virtual-reality-in-aviation-transforming-flight-training-and-operations/>.

Steele, P. (2018). Future Of The Airline Industry 2035. Dostupné na: <https://www.iata.org/contentassets/086e8361b2f4423e88166845afd2f03/iata-future-airline-industry.pdf>.

Terekhov, V. (2023). The Future of Airlines: How AI and Automation Are Revolutionizing the Aviation Industry. Dostupné na: <https://attractgroup.com/blog/how-ai-and-automation-are-revolutionizing-the-aviation-industry/#>.

WEITERING, H. (2023). Beyond Automation: How Artificial Intelligence Is Transforming Aviation. Dostupné na: <https://www.futureflight.aero/news-article/2023-07-13/beyond-automation-how-artificial-intelligence-transforming-aviation>.



IDENTIFIKÁCIA RUŠENIA GNSS SIGNÁLU NA LETISKÁCH

Michal Paraska
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

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

Abstract

In this thesis, the interference of GNSS signals at airports was studied, identifying the main types of interference and their sources. Through a thorough analysis and reevaluation of experimental setups, effective detection methods and mitigation strategies were established. The findings emphasize the significant impact of interference on safety and operational efficiency in aviation. It is recommended to enhance signal integrity with advanced monitoring systems and to work with aviation regulatory authorities to update existing frameworks, ensuring reliable GNSS functionality in an increasingly congested environment.

Keywords

GNSS, interference, mitigation, safety

1. Úvod

GNSS, alebo Globálny navigačný satelitný systém, je univerzálny termín používaný pre systémy, ktoré poskytujú autonómne geopriestorové polohovanie s globálnym pokrytím. Tento systém využíva konšteláciu umelých satelitov, ktoré obiehajú okolo Zeme vo vysokých orbitách, a príslušné pozemné stanice, ktoré spoločne poskytujú informácie o polohe a čase pre rôzne civilné, vojenské a komerčné aplikácie.

GNSS zahŕňa niekoľko rozličných systémov: americký GPS (Global Positioning System), ruský GLONASS, európsky Galileo, čínsky BeiDou a ďalšie regionálne systémy ako napríklad japonský QZSS a indický NavIC. Každý z týchto systémov má schopnosť nezávisle poskytovať presné informácie o polohe a čase, avšak ich integrácia zvyšuje presnosť a spoľahlivosť poskytovaných údajov.

GNSS sa široko využíva v mnohých odvetviach, vrátane dopravy, poľnohospodárstva, vojenstva, stavebníctva, a výskumu. Používa sa pre navigáciu vozidiel, riadenie letových operácií, mapovanie, sledovanie pohybu objektov a ďalšie aplikácie, kde je potrebné presné určenie polohy.

V súčasnom leteckom priemysle je závislosť na globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS) pre navigáciu a časovanie kľúčová. Tieto systémy sú neoddeliteľnou súčasťou globálneho riadenia letovej prevádzky a poskytujú presnosť, ktorá je základom pre bezpečnosť a efektivitu v leteckej doprave. Avšak táto závislosť tiež zvyšuje zraniteľnosť leteckého sektora voči rušeniam GNSS signálov, či už neúmyselným alebo úmyselným. Následky takéhoto rušenia môžu byť vážne a môžu ovplyvniť všetko od presnosti letových trás až po spoľahlivosť komunikácie medzi pilotmi a dispečermi.

Článok sa zaoberá rušením signálov GNSS v leteckom priemysle, najmä v kontexte letísk, kde je integrita týchto signálov nevyhnutná. Vzhľadom na rastúci počet prípadov rušenia, ktoré boli zdokumentované v mnohých správach a štúdiách, je dôležité venovať sa tejto problematike. Cieľom je podrobné

popísanie infraštruktúry GNSS a jej využitia v letectve, vrátane vysvetlenia, ako môžu byť GNSS signály rušené. Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS), ako sú GPS, Galileo, GLONASS a BeiDou, sú základom pre mnohé letecké operácie. Tie poskytujú kritické služby v oblastiach ako navigácia, pristávanie a riadenie letovej prevádzky.

Rušenie týchto signálov môže byť spôsobené rôznymi zdrojmi, vrátane nelegálnych rušičov, ktoré emitujú signály na frekvenciách používaných GNSS, čím zasahujú do normálnej funkcie prijímačov na palube lietadiel alebo v riadiacich vežiach. Aktuálne technológie zahŕňajú široké spektrum detekčných nástrojov od jednoduchých, pasívnych monitorovacích systémov, po pokročilé aktívne detekčné systémy schopné analyzovať a lokalizovať zdroje rušenia v reálnom čase. Napriek ich rozsiahlej funkcionalite tieto technológie často trpia obmedzeniami, ako sú falošné poplachy, obmedzená vzdialenosť dosahu alebo neschopnosť odolať sofistikovaným formám rušenia, čo poukazuje na potrebu ďalšieho vývoja a

2. Metodika a metódy skúmania

Cieľom bolo analyticky posúdiť efektivnosť systémov pri riešení problémov s rušením signálov GNSS. Vzhľadom na chýbajúce osobné experimenty bola aplikovaná metóda založená na dôkladnej analýze dostupných dát a štúdií zameraných na technológie detekcie rušenia. Tento prístup zahŕňal systematické vyhodnocovanie vedeckých článkov, prípadových štúdií a technických správ, ako aj výsledkov experimentov uskutočnených inými výskumnými tímami. Boli tiež preskúmané technické špecifikácie a výkonnostné hodnotenia dostupných komerčných detekčných systémov, vrátane systému GIDAS.

Hlavné informačné zdroje boli získané z externých databáz a publikácií, ktoré dokumentujú implementácie systémov na rôznych letiskách. Analýza sa sústredila na široké spektrum údajov poskytujúcich informácie o rôznych aspektoch rušenia

GNSS. Z týchto údajov boli vyťažené kľúčové poznatky o efektívnosti, spoľahlivosti a praktickej aplikácii detekčných technológií. Kritické zhodnotenie zhromaždených údajov a existujúcich riešení umožnilo identifikovať silné a slabé stránky týchto technológií, ich schopnosť adaptácie na zmeny v prostredí letiska a ich funkčnosť v rozličných rušivých podmienkach. Tieto výsledky napomohli identifikovať možnosti pre zlepšenie a inovácie v technológiách detekcie rušenia GNSS.

3. Výsledky

Pozemná detekcia pomocou ADS-B:

Využitie systému Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) pre detekciu rušenia zo zeme. ADS-B je kritický pre riadenie letovej prevádzky, a jeho presnosť a spoľahlivosť môžu byť narušené. Diskutuje sa o tom, ako interferencia ovplyvňuje ADS-B a aké kroky možno podniknúť na minimalizáciu týchto efektov. Použitím estimácie polohy rušiča na základe výpočtu podľa posledného fixu a znova nadobudnutej polohy.

V rámci kapitoly o technológiách proti spoofingu sú rozoberané nasledujúce špecifické metódy a systémy na detekciu a obranu proti spoofingu GNSS signálov:

Detekcia Amplitúdy Signálu: Táto technológia analyzuje zmeny v amplitúde prijímaného signálu, ktoré môžu naznačovať prítomnosť podvrhovaného signálu. Prijímače porovnávajú očakávané úrovne signálu s aktuálnymi meraniami na určenie anomálií.

Detekcia Uhla Príchodu (AoA): Systémy využívajúce túto metódu skúmajú smer, z ktorého signály prichádzajú. To pomáha rozlíšiť legitímne signály od tých podvrhnutých, ktoré často prichádzajú z neočakávaných smerov.

Čas Príchodu Signálu (ToA): ToA technológie merajú čas, ktorý potrebuje signál dosiahnuť prijímač, na identifikáciu časových rozdielov, ktoré môžu naznačovať interferencie alebo spoofing.

Overenie Konzistencie s Ďalším Navigačným Vybavením: Tento prístup porovnáva údaje GNSS s údajmi z iných navigačných systémov, ako sú inerciálne navigačné jednotky (INU) alebo rádiové navigačné systémy, na overenie ich konzistencie.

Autentifikácia Šifrovaného Signálu: Vyšší stupeň zabezpečenia sa dosahuje šifrovaním GNSS signálov. Prijímače, ktoré majú prístup k dešifrovacím kľúčom, môžu overiť pravosť signálu.

Detekcia Smeru Polarizácie Signálu: Táto metóda zahŕňa analýzu polarizácie prijatého signálu na zistenie nezrovnalostí, ktoré môžu indikovať podvrhnutie.

Detekcia Vektorových Sledovacích Slučiek: Táto sofistikovaná technika sa sústreďuje na analýzu správania sa sledovacích slučiek vo vnútri GNSS prijímača, čím umožňuje detekciu zmenených alebo podvrhnutých signálov.

Problematikou rušenia signálu GNSS sa aktívne zaoberá aj Európska agentúra pre bezpečnosť v letectve (EASA). Ktorá vydala nasledujúce odporúčania pre prevádzkovateľov letov aj riadenia letovej prevádzky.

Núdzové postupy a koordinácia: EASA zdôrazňuje dôležitosť stanovenia núdzových postupov v koordinácii s poskytovateľmi služieb riadenia letovej prevádzky (ATM)/služieb leteckej

navigácie (ANS) a užívateľmi vzdušného priestoru. Cieľom je zabezpečiť, aby všetky strany boli pripravené a mohli primerane reagovať v prípade narušenia GNSS.

Udržiavanie konvenčnej navigačnej infraštruktúry:

Agentúra radí udržiavať a zabezpečiť plnú funkčnosť konvenčnej navigačnej infraštruktúry, najmä systémov pre pristávanie podľa prístrojov (ILS), ktoré môžu slúžiť ako záloha pre GNSS počas obdobia rušenia.

Proaktívne opatrenia na zmierňovanie rizík: EASA navrhuje implementovať proaktívne opatrenia na zmierňovanie rizík, ako je vydávanie NOTAMov (Notices to Airmen - oznámenia pre letcov), ktoré opisujú postihnuté oblasti a súvisiace operačné obmedzenia. To pomáha pilotom a leteckým dispečerom plánovať a vykonávať lety bezpečne za podmienok rušenia GNSS.

Zbierka informácií a rýchle notifikácie: Odporúča sa, aby sa informácie o degradácii GNSS zbierali prostredníctvom poskytovateľov služieb ATM/ANS v koordinácii s národnými telekomunikačnými úradmi. Mali by sa zriadiť protokoly pre rýchle upozorňovanie.

Obmedzenie používania rušiacich zariadení: EASA presadzuje diskusie na národnej úrovni týkajúce sa obmedzenia rušiacich zariadení GNSS. To zahŕňa regulačné opatrenia na zabránenie neoprávneného používania zariadení, ktoré môžu úmyselne narušiť signály GNSS.

Neustále monitorovanie a ostrážitosť: Agentúra zdôrazňuje potrebu neustáleho monitorovania navigačného prostredia, aby sa mohli rýchlo zistiť a riešiť potenciálne hrozby pre signály GNSS. To zahŕňa monitorovanie vesmírneho počasia a vojenských testov, ktoré môžu ovplyvniť presnosť a dostupnosť GNSS.

V kapitole o hodnotení systémov na identifikáciu rušenia GNSS na letiskách sa podrobne venuje analýze a porovnaniu efektivity rôznych systémov zameraných na detekciu rušenia v reálnom čase. Dva z hlavných systémov, ktoré sú detailne skúmané, sú SWEPOS a GIMAD (GNSS Interference Monitoring and Detection). Tieto systémy sú kľúčové pre zabezpečenie spoľahlivosti a integrity signálov GNSS, ktoré sú nevyhnutné pre navigáciu a riadenie letových operácií na letiskách.

SWEPOS: Systém SWEPOS využíva rozsiahlu sieť pozemných staníc rozmiestnených po celom Švédsku, ktoré neustále monitorujú kvalitu signálu GNSS. Tieto stanice sú vybavené senzormi schopnými detegovať aj veľmi slabé rušenie, čo umožňuje rýchlu a presnú reakciu na potenciálne hrozby. SWEPOS efektívne identifikuje a lokalizuje zdroje rušenia, čím prispieva k ochrane kritických letiskových operácií pred narušením signálu.

Systém DETECTOR: DETECTOR je špecializovaný systém navrhnutý na identifikáciu a analýzu rušenia GNSS, ktorý zahŕňa pokročilé technologické riešenia na zlepšenie odolnosti GNSS služieb na letiskách. Systém analyzuje široké spektrum frekvencií používaných GNSS a využíva pokročilé algoritmy na detekciu anomálií v signáloch. Toto umožňuje presné a rýchle zistenie a riešenie rušivých signálov, čím zabezpečuje kontinuitu a spoľahlivosť navigačných a radiacích systémov na letiskách.

GIMAD (GNSS Interference Monitoring and Detection): GIMAD je rozsiahly systém zameraný na monitorovanie a detekciu rušenia GNSS, ktorý poskytuje kritické údaje pre zabezpečenie integrity GNSS signálov. Systém GIMAD monitoruje rôzne frekvenčné pásma a využíva sofistikovanú technológiu na identifikáciu a klasifikáciu rušivých signálov. Vďaka integrovanej sieti senzorov a databáze historických údajov dokáže GIMAD efektívne predpovedať a minimalizovať vplyv rušenia na letiskové operácie.

GIDAS (GNSS Interference Monitoring and Detection System): je sofistikovaný systém navrhnutý špeciálne na detekciu a analýzu rušenia signálov GNSS. Využíva sieť monitorovacích staníc, ktoré neustále hodnotia integritu a kvalitu signálov GNSS v rôznych frekvenčných pásmach. GIDAS vyniká v detekcii rušenia v reálnom čase a ponúka komplexné pohľady na potenciálne narušenia spôsobené rušením, či už je to úmyselné alebo náhodné.

Systém poskytuje kritické údaje, ktoré pomáhajú zabezpečiť spoľahlivosť a presnosť operácií závislých od GNSS, najmä v citlivých prostrediach, ako sú letiská. Schopnosti GIDAS zahŕňajú pokročilé analytické nástroje, ktoré identifikujú, klasifikujú a lokalizujú zdroje rušenia, čo umožňuje rýchle a účinné opatrenia na ich elimináciu. Toto zabezpečuje, že navigačné a riadiace systémy zostanú funkčné a presné aj v prípade potenciálneho rušenia.

"**sum of squares**" (súčet štvorcov) je matematická metóda používaná na analýzu a hodnotenie údajov, najmä v oblastiach ako štatistika, strojové učenie a signálové spracovanie. Tento prístup sa často využíva na kvantifikáciu variability alebo odchýlky v súbore údajov alebo na porovnanie dvoch alebo viacerých skupín údajov.

V kontexte detekcie rušenia GNSS, technológia sum of squares analyzuje signál na zistenie náhlych zmien alebo anomálií vo vlastnostiach signálu, ako sú amplitúda alebo frekvencia. Táto metóda pracuje na princípe výpočtu sumy štvorcov rozdielov medzi pozorovanými hodnotami a ich teoretickými, očakávanými hodnotami. Vysoké hodnoty súčtu štvorcov môžu indikovať významné rušenie alebo odchýlky od normálneho stavu, čo signalizuje potrebu ďalšej analýzy alebo zásahu. Integrácia metódy "sum of squares" s mobilnými telefónmi, najmä v kontexte detekcie rušenia GNSS, otvára nové možnosti pre využitie tejto technológie v širšom rozsahu aplikácií. Mobilné telefóny, ktoré sú vybavené GNSS prijímačmi, môžu využívať túto metódu na analýzu signálov prijímaných z satelitov na identifikáciu a kvantifikáciu rušenia v reálnom čase.

V praxi by aplikácia sum of squares v mobilných telefónoch mohla fungovať tak, že softvér v telefóne analyzuje údaje o signále GNSS, ako sú úrovne C/NO (Carrier-to-Noise Ratio), ktoré poskytujú informácie o kvalite a integrite prijatého signálu. Ak metóda deteguje významné odchýlky, ktoré môžu naznačovať rušenie, aplikácia môže upozorniť používateľa alebo automaticky prijať kroky na minimalizáciu negatívneho vplyvu rušenia na polohovacie a navigačné funkcie telefónu.

4. Záver

Záver štúdie zdôrazňuje kritický vplyv rušenia GNSS signálov na bezpečnosť a operačnú efektívnosť v leteckom priemysle. Výsledky ukazujú, že bez adekvátnych protipatrení môže rušenie signálov výrazne narušiť navigačné a komunikačné systémy používané v letectve.

Na základe analýzy sa systém GIDAS ukázal ako výrazne nadradený v detekcii a analýze rušení. Jeho schopnosť monitorovať a identifikovať zdroje rušenia v reálnom čase je neoceniteľná pre udržiavanie integrity signálov GNSS, čo je nevyhnutné pre presnú a bezpečnú leteckú navigáciu. GIDAS poskytuje letiskám kritické údaje potrebné pre efektívne riadenie a riešenie problémov spojených s rušením signálov.

Odporúča sa ďalšie posilňovanie systému GIDAS a jeho integrácia s existujúcimi technologickými riešeniami na letiskách. Takáto integrácia by zabezpečila lepšiu koordináciu a rýchlejšiu reakciu na potenciálne hrozby rušenia, čím by sa výrazne zvýšila bezpečnosť letovej prevádzky.

Zároveň je potrebná užšia spolupráca medzi vývojármi technológií, leteckými regulačnými orgánmi a letiskami na aktualizácii a zlepšení regulačných rámcov. Toto by umožnilo rýchlejšie prijatie nových technologických riešení a zabezpečilo by, že letiskové systémy sú pripravené čeliť moderným výzvam spojeným s rušením GNSS.

V závere sa naznačuje potreba kontinuálneho výskumu a vývoja v oblasti detekčných technológií a ich aplikácií, aby sa zaistilo, že letecké systémy zostanú odolné voči rušeniu a zabezpečené pre budúcnosť.

Pod'akovanie

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

Referencie

S. Ataş et al., "GNSS based augmentation systems aviation perspective and vision for Turkey," 2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST), Istanbul, Turkey, 2015, pp. 123-128, doi: 10.1109/RAST.2015.7208327.

Available at:
<https://doi.org/10.17932/IAU.IAUD.m.13091352.2019.2/42.205-215> BROUMANDAN, A.; KENNEDY, S. 2023. Performance Characterization of Hexagon|NovAtel's Robust Dual-Antenna Receiver (RoDAR) during the Norwegian Jamming Trial 2022. Eng. Proc., 54, 28. <https://doi.org/10.3390/ENC2023-15470>

D. Borio and C. Gioia, "Real-time jamming detection using the sum-of-squares paradigm," 2015 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS), Gothenburg, Sweden, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICL-GNSS.2015.7217161.

European Space Agency (ESA). GIDAS: Real-time interference detection making satnav safer. [online]. 20/07/2020 Available at: https://www.esa.int/Applications/Satellite_navigation/GIDAS_Real-time_interference_detection_making_satnav_safer

European Union Agency for the Space Programme (EUSPA). 2016. What is GNSS? [online]. Available at: <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss> [Accessed: 8 April 2024].

FOL, Patric und Michael FELUX, 2022. Identification and operational impact analysis of GNSS RFI based on flight crew reports and ADS-B data. In: Proceedings of the IWAC2022. Conference paper. Tokyo: Electronic Navigation Research Institute. Oktober 2022

Inside GNSS 2021. n.d. GNSS Interference Detection Passes Airport Tests, Ready for Commercialization. [online]. Available at: <https://insidegnss.com/gnss-interference-detection-passes-airport-tests-ready-for-commercialization/>.



FORECASTING FLIGHT DELAYS USING MACHINE LEARNING

Mykhailo Soloviov
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Benedikt Badánik
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article considers machine learning and its utilization in the domain of air transportation. The first part of this research aims to define machine learning, describe its historical development and helps delineate machine learning in a broader framework of other data analysis approaches such as artificial intelligence, deep learning and data science. In the second part, the research is meant to explain what machine learning is, tell more about the types of machine learning and how it is used in different scenarios in the aviation industry. This part of the thesis discusses certain areas and real examples of how machine learning is used by multiple companies (aircraft manufacturers) as well as examines the available conclusions of researches already undertaken in the area and determines their connection to the current one. Finally, the practical part of the thesis uses the collected real-time data about departures from two American airports, analyses it with the help of statistical Python-based tools, describes the developed machine-learning algorithm to predict delays, runs experiments on data and discusses results.

Keywords

machine learning, data science, artificial intelligence, flight delay, prediction, classifier, estimator, data

1. Introduction

Machine learning is using an algorithm or computer programme to learn about different patterns in data and then taking that algorithm and what it has learnt to make predictions about the future using similar data.

For the past several years, much has been written about data collection systems onboard modern airplanes: GE jet engines collect information at 5,000 data points per second; a Boeing 787 generates an average of 500GB of system data a flight; an Airbus A380 is fitted with as many as 25,000 sensors. Much of this data is transmitted or downloaded to plan maintenance, where it can be decided on when to position spare parts or anticipate component failure [1].

Machine learning lets computers make decisions about data, it lets computers learn from data and then make predictions and decisions. What product does YouTube recommend? Does this person have heart disease? Is this email spam? All use machine learning. So we, essentially, let computers decide for us. Although computers only understand numbers, in the end of the day only ones and zeros, using machine learning we have found ways for computers to decide for us and answer hard questions that in the past only humans could answer. But machine learning is after all just a general term for when computers learn from data. It allows computers to do tasks that in the past required humans, and make our lives, hopefully, easier.

The main goal of this article is to show how machine learning and advanced data analysis is used in airport operations and to develop a flight delay prediction model that uses machine learning.

2. Methodology and methods of research

Now let us explore what flight delay is and what methods of predicting flight delays scholars have developed to address the issue.

Civil aviation authorities in different countries have different definitions of flight delay.

The United States Federal Aviation Administration (FAA) considers a flight to be delayed if its actual departure is 15 minutes later than scheduled departure. There are many reasons for flight delays including weather conditions, engineering maintenance, air traffic flow, military activity, incidents like runway incursion, runway/taxiway surface damage, passengers being late for boarding, unruly non-cooperative passengers, public health incidents, departure system failures etc.

As explained in the paper by Wang and colleagues *A Review of Flight Delay Prediction Methods* [2] the general process of flight delay prediction consists of:

- 1) Analysing flight delay prediction objects: determining flights, airports and timeframe as well as relevant variables such as weather, air traffic flow and military aviation activity
- 2) Data collection and pre-processing: collecting flight operation data, pre-processing the data, i.e. performing cleaning and transforming
- 3) Selecting a flight delay prediction method: selecting an appropriate and efficient method (machine learning, traditional statistical analysis, queuing theory)
- 4) Building a flight delay prediction model: building a prediction model, inputting collected and processed data and performing numerical simulation test
- 5) Model evaluation: using evaluation indicators such as RMSE (Root Mean Square Error), MSE (Mean Squared Error) and MAE (Mean Absolute Error) to evaluate the prediction effect
- 6) Model output and saving: analysing the model output and saving the model for future use

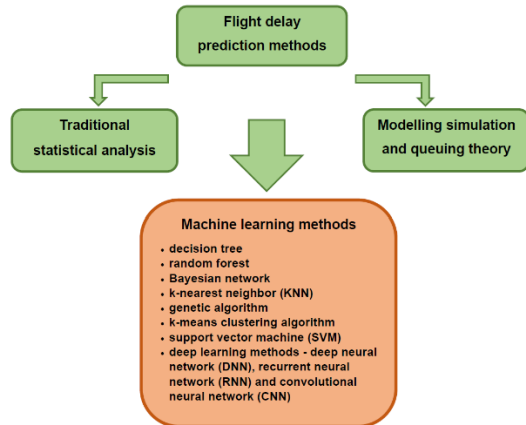


Figure 1. Flight delay prediction methods framework. [Source: Author]

Machine learning, a subset of artificial intelligence, leverages AI techniques to extract crucial features and construct machine learning models using extensive flight data. The principles and methodologies of machine learning have found extensive applications within the realm of civil aviation. In particular, the domain of flight delay prediction employs a variety of machine learning approaches, encompassing decision trees, random forests, Bayesian networks, k-nearest neighbors, k-means clustering algorithms, support vector machines, deep learning, and more.

Decision tree is a tree-like model where each node represents a decision based on the value of a specific feature. The leaves of the tree represent the outcomes or class labels. The commonly used decision tree algorithms include ID3 (Iterative Dichotomiser 3), C4.5, CHAID (Chi-squared Automatic Interaction Detector) and CART (Classification and Regression Trees). Cheng [3], Zhou [4] and Liu [5] used different approaches and the experimental results showed that the model's accuracy is close to 80%.

Random forest is a classifier containing multiple decision trees, which randomly generates multiple independent decision trees from historical data. Certain research has been done while fusing historical flight data with meteorological data and it showed that the recall and accuracy are improved after the integration of meteorological data [6].

Bayesian network consists of a graph and a probability table, Xu proposed the use of Bayesian networks to investigate and visualize delay propagation between airports [7].

The k-Nearest Neighbors (k-NN) algorithm is a simple, yet powerful, supervised machine learning algorithm used for both classification and regression tasks. The primary idea behind k-NN is to predict the label or value of a new data point based on the majority class or average of the k-nearest data points in the feature space.

Support vector machine is a supervised learning algorithm for both classification and regression, SVM is particularly effective in high-dimensional spaces, but can be computationally intensive for large datasets. Esmailzadeh [8] employed SVM model to explore the nonlinear relationship between flight delay results.

Deep learning is a new research direction in the field of machine learning. Deep neural networks can automatically learn hierarchical representations of features from raw data such as departure times, weather conditions, airport information, and historical flight data. Deep learning models can integrate information from various sources, such as structured tabular data and unstructured data like text or images. This is beneficial, because one can predict flight delays based on diverse factors like weather reports, social media sentiment, etc. It's important to note that while deep learning methods can offer powerful capabilities, their success depends on factors such as the quality and quantity of data, appropriate model architecture, hyperparameter tuning, and careful validation.

For this project the very popular and widely-used tool for ML will be used: Scikit-Learn [9]. There is an extensive documentation available at their official website [10] about different methods and estimators used in ML and the settings for their usage from a point of problem's stating to the data available and implementation.

For our purposes the following 'map' will be used.

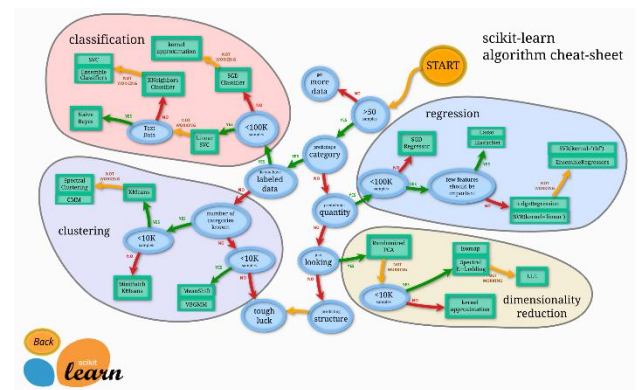


Figure 2. Scikit-Learn estimators map [Source: [10]]

For our classification problem the SVC, KNeighbors and Ensemble Classifier (Random Forest) will be used. For the regression problem the Ridge and Ensemble Regressor (Random Forest) will be used according to the map above.

Data for this project has been collected from the official website of the United States Government Department of Transportation [11], which is an official website of the United States Government Department of Transportation and it has the search engine capable of looking for on-time real-world statistics from many airlines, specifically those that have at least 0.5 percent of total domestic scheduled-service passenger traffic.

For the purpose of this project two airports were chosen: ATL Atlanta Hartsfield Jackson International Airport and PHX Phoenix Sky Harbor International Airport. The time frame chosen is full calendar year – 2019. It has not been affected in any way by the COVID-19 pandemic, so the operation can be deemed normal. The airline, whose flights were selected is American Airlines (AA). Also both these airports are focal points of the aviation traffic in the United States, serving two large urban areas in the south-eastern and south-western USA respectively.

The Jupyter Notebook software for data analysis is used in this project, being the best and the most popular tool for data analysis projects.

At first some EDA (Exploratory Data Analysis) was done to show in more detail the features of the dataset we were working with.

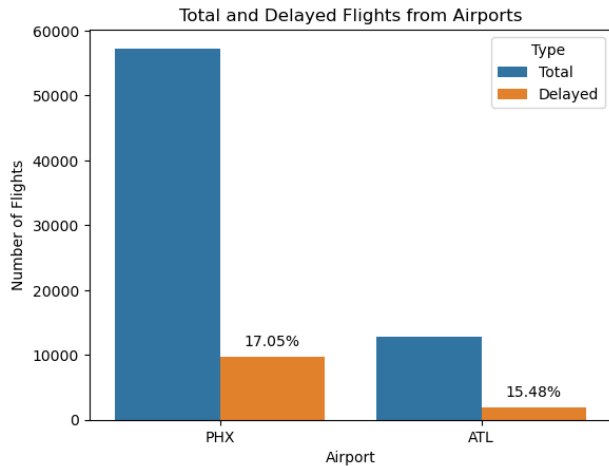


Figure 3. Delayed and on-time flight at PHX and ATL [Source: Author]

We see that delayed flights make up a total of ~16.76% of 70 036 recorded flights.

Now let's see the distribution of delays and what delays are the most common.

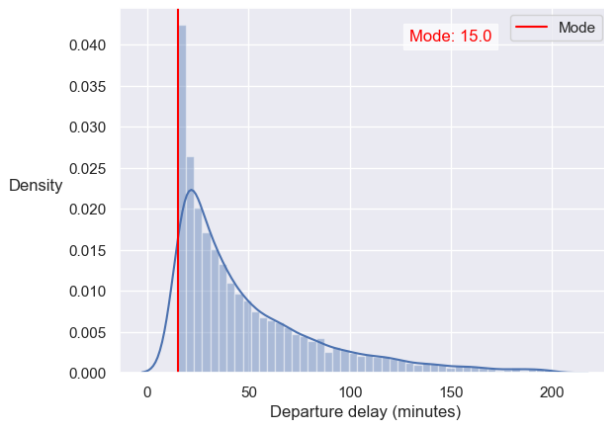


Figure 4. Distribution of delays at PHX [Source: Author]

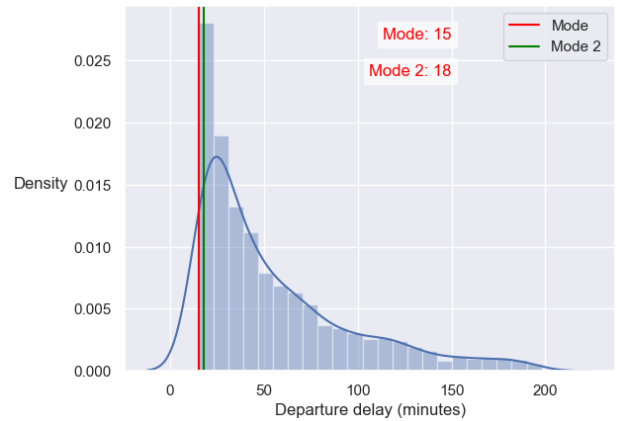


Figure 5. Distribution of delays at ATL [Source: Author]

Now let's see the distribution of delays and what delays are the most common.

We see that distribution is highly right-skewed, meaning that majority of flights' delays oscillate around 0, with the most common delay figure in the PHX dataset being 15 minutes and the most common in ATL dataset – 15 and 18 minutes.

By importing, identifying and removing the missing data points from PHX, this overview of dataset is obtained:

It contains a total of 57270 rows (flights) and these columns:

carrier_code, date_(mm/dd/yyyy), flight_number, tail_number, destination_airport, scheduled_departure_time, actual_departure_time, scheduled_elapsed_time_(minutes), actual_elapsed_time_(minutes), departure_delay_(minutes), wheels-off_time, taxi-out_time_(minutes).

The corresponding ATL dataset has 12766 rows (flights) and same columns.

2.1. Classification model

The first model we are going to implement here is a classification model. It will look at the training part of the data and try and find some correlation between features and target variable. Target variable takes a value of '1' or '0' depending on whether the flight is delayed or on time, '1' representing delay of over 15 minutes and '0' – no delay or a delay of less than 15 minutes.

Our original dataset would have all these columns (features) as displayed in the first step in the above figure, then some columns are dropped, because they would have made it very obvious for the algorithm to predict if the flight was delayed or on-time and furthermore they are not known at the time of prediction, which is usually some time before the flight's departure. The correlation matrix in Fig. 6 shows the columns that this algorithm is going to be working with. The ML model will try to predict whether or not the flight is going to be delayed based on the flight number, scheduled elapsed time (the estimated duration of the flight), destination airport (where the flight is headed), month and day of the flight, and the scheduled departure time of the flight.



Figure 5. Correlation matrix [Source: Author]

Three different estimators are used in the classification problem: KNN (k-Nearest Neighbor), SVC (Support Vector Classifier) and Ensemble Classifier (namely Random Forest Classifier) as shown in Figure 2.

2.2. Regression model

The goal of the regression model is to let the model learn from the data of the delayed flights and try and predict a number of minutes the flight is going to be delayed for. So, we are considering only delayed flights for this.

In this scenario, two regression estimators will be used: Ridge Regression and Ensemble Regressor (namely Random Forest Regressor).

After splitting the data into training and testing subsets, two models were applied to the data and immediately evaluated using a R^2 (R-squared) parameter or coefficient of determination. What this parameter shows us is how the model's predictions correspond to the mean of the targets. The score can range from negative infinity to 1. A score of 1 indicates perfect prediction, a score of 0 indicates that the model is no better than predicting the mean of the target variable for all observations, and a negative score indicates that the model is performing worse than predicting the mean.

For a Ridge regression model the R^2 score obtained was: 0.0021642457789885494. Seeing as the value is very close to 0 means that this model is as good at predicting the actual value in minutes by which the flight is delayed as just taking the mean delays in the test dataset and saying that the value obtained is the predicted delay for all flights. For a Random Forest regression model the R^2 score was even less: -0.03244153536392225. Meaning that the model performs even poorer than just predicting the delay as mean of all delays in the dataset.

Table 1. Evaluators of regression models [Source: Author]

Evaluator	Ridge	Random Forest
R^2	0.00216	-0.03244
MAE	44.554 mins	47.508 mins

MSE	7813.765 mins ²	8084.753 mins ²
-----	----------------------------	----------------------------

In the table above there are also two other common evaluators that are used when evaluating a regression model. MAE is the average of the absolute differences between predictions and actual values. It gives us an idea of how wrong our predictions were. Lower is better. In our case they are ~44 and ~47 mins respectively. Given as the mean delay is about 9 mins for both datasets which was easily found out from EDA, our MAE constitutes an error of about 500%, which makes this model unusable under these circumstances.

By finding that out, we can safely say that the dataset obtained and used in this thesis, is not suitable for a prediction of delay using regression ML algorithm. For purposes of improving this model a different approach would have needed to be applied: collecting more data and of different type and further feature engineering.

That's why regression model will not be further discussed in the next chapter.

3. Results

The first classification model that was run was KNN classifier and it achieved accuracy of 80.60%, but then some tuning was performed and by adjusting the number of neighbors to 20 a better result was achieved of 83.05%. The SVC classifier model achieved accuracy of 83.10%. The Random Forest model achieved accuracy of 77.72%.

By computing the accuracy we measure a fraction of all data points that were correctly predicted [12]. Only we have to take into account that accuracy alone might not be sufficient to evaluate a classification model, especially if the dataset is imbalanced. Other metrics take stage in these scenarios like precision, recall, F1 score and ROC-AUC and we will explore them next.

Table 2. Classification report for KNN model [Source: Author]

	Precision	Recall	f1-score	Support
0	0.83	1.00	0.91	11641
1	0.46	0.02	0.04	2367
Accuracy			0.83	14008

Table 3. Classification report for SVC model [Source: Author]

	Precision	Recall	f1-score	Support
0	0.83	1.00	0.91	11641
1	0.00	0.00	0.00	2367
Accuracy			0.83	14008

Table 4. Classification report for Random Forest model [Source: Author]

	Precision	Recall	f1-score	Support
0	0.84	0.90	0.87	11641
1	0.24	0.15	0.19	2367
Accuracy			0.78	14008

In the tables illustrated above we see that KNN model has the same accuracy as SVC model, but they differ in precision and recall. We see that SVC has zero values in both precision and recall in the 1 class, meaning that the model classified flights as being either not delayed and they'd turned out as not delayed (11641) or the model classified them as delayed, when they were indeed on time (2367). There are no flights in the TP (True Positive) part of the confusion matrix (see Fig. 7), meaning that the model didn't actually predict a single flight to be delayed and was right, so we can safely disregard this model from further evaluation.

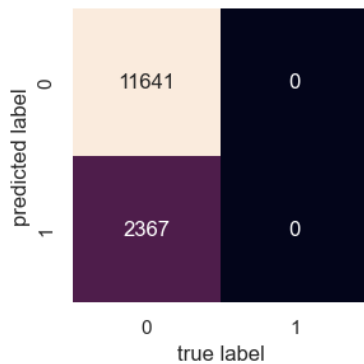


Figure 7. Confusion matrix SVC [Source: Author]

Now we are left with comparing the KNN model and Random Forest model. Let's see both their confusion matrices and also compare their classification reports.

Looking at the confusion matrix of the KNN model (see Fig. 8) we roughly get the idea of where the high accuracy of 83% is coming from. The model is pretty good at capturing and identifying non-delayed flights. After all out of 11641 non-delayed flights, 11589 were correctly classified as non-delayed. But at the same time 2323 flights (out of 2367 actually delayed flights) were predicted to be delayed when indeed they were not. Only 44 flights (about 2% of all delayed flights) were correctly identified as delayed, and 52 flights were misclassified as non-delayed.

Random Forest model (see Fig. 9) is better at identifying the delayed flights – 359 (out of total 2367, about 15%) flights were correctly classified as delayed. But it comes at a price of more False Positive identifications (flights identified as 1 – 'delayed' when they were indeed not) and less True Negative identifications (model is worse at capturing non-delayed flights).

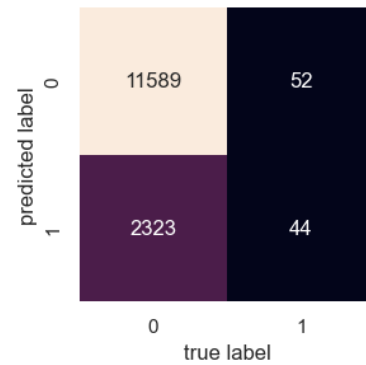


Figure 8. Confusion matrix KNN [Source: Author]

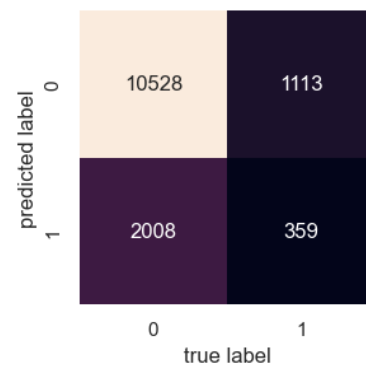
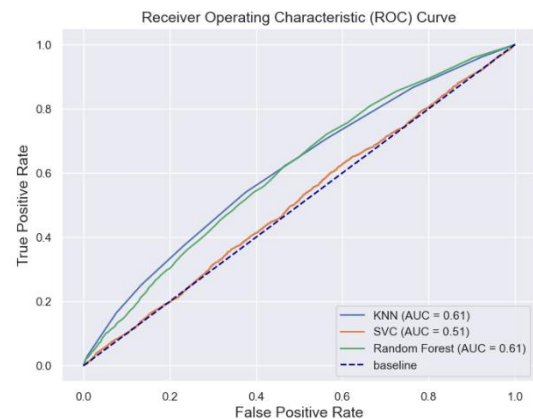


Figure 9. Confusion matrix RF [Source: Author]

Certain attention should be given to the ROC-AUC plot. It is a plot used to evaluate the performance of binary classification models. It illustrates the trade-off between the true positive rate (sensitivity) and the false positive rate (specificity) at various thresholds. AUC (Area Under Curve) can be maximum 1.0, indicating perfect prediction. A higher AUC value indicates better overall model performance in distinguishing between the two classes.

Figure 10. ROC-AUC plot [Source: Author]



Clearly we see two leaders here: KNN and Random Forest. We can make an assumption going forward that with implementation of more relevant data those two algorithms have more promise in providing better results.

4. Conclusion

In this thesis, the aim was to introduce the reader to ML, specifically in aviation and to develop a flight delay ML algorithm. For those purposes a brief introduction to ML, including its history and classification was done, then the thesis focused on ML applications in the aviation industry. Reliable scientific papers were reviewed and discussed.

Then we embarked on a journey to develop a flight prediction machine learning model focusing on the timely operation of flights. The project began with data collection from reliable sources, cleaning, preprocessing, and culminated in the evaluation of classification and regression models. For the purpose of making the work accessible to public, all the Jupyter Notebook files (.ipynb extension) along with the raw datasets were uploaded to GitHub at this link [13].

The building of the models were split in two ways: classification and regression.

The classification model aimed to predict whether a flight would experience a delay exceeding 15 minutes. Features such as flight number, scheduled elapsed time, destination airport, month, day, and scheduled departure time were utilized for training. Three classifiers - KNN, SVC, and Random Forest - were employed, with SVC demonstrating the highest accuracy of 83.10%, meaning that the model was able to predict if the flight would be delayed 15 mins or more in 83 out of 100 flights. However, a deeper analysis revealed limitations (see Fig. 7-9, Table 2-4), particularly in precision and recall metrics, highlighting the need for comprehensive evaluation beyond accuracy.

The regression model sought to predict the duration of flight delays, focusing exclusively on delayed flights. Two regressors - Ridge and Random Forest - were applied, but both models exhibited poor performance, as indicated by the low R-squared scores and high Mean Absolute Errors (MAE). This outcome suggested that the dataset, in its current form, lacked the predictive power required for regression-based delay prediction. To predict the exact number of minutes the flight is going to be delayed for more features in the dataset are required – weather information, causes of delays in the training dataset when and if the flight was delayed (whether it was caused by weather, operations of airline, airport, force majeure factors, aircraft maintenance, delay propagated from previous flight, military incidents etc.).

In conclusion, classification models showed promise in identifying delayed flights – all of them were able to predict whether the flight would be delayed or not in at least 78% of cases. The regression model's performance was inadequate for practical application. The practical application of the results reached in this thesis is understanding that for a complex task of predicting flight delays Ensemble methods (such as Random Forest) should be used and further built upon to develop a more robust flight delay prediction engine.

Future research should focus on enhancing the dataset quality, incorporating additional features, and exploring advanced machine learning techniques to improve predictive accuracy. Additionally, deploying ensemble methods or exploring neural networks may offer avenues for enhanced performance. Moreover, addressing the issue of imbalanced datasets and fine-

tuning models could further refine prediction capabilities. Despite the challenges encountered, this thesis lays a foundational framework for developing more robust and accurate flight prediction models, essential for optimizing airline operations and passenger experiences.

References

- [1] SHAH, D. 2014. How Big Data could improve commercial aviation safety. In: Aerospace Manufacturing & Design. 2014. Available at: <https://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/news/millions-of-data-points-flying-part2-121914/> [cit. 2023-11-06]
- [2] T. Wang, Y. Zheng and H. Xu, "A Review of Flight Delay Prediction Methods," 2022 2nd International Conference on Big Data Engineering and Education (BDEE), Chengdu, China, 2022, pp. 135-141, doi: 10.1109/BDEE55929.2022.00029.
- [3] H. Cheng, Y. M. Li, Q. Luo, et al., "Study on flight delay with C4.5 decision tree based prediction method," Systems Engineering-Theory & Practice, vol. 34, pp. 239-247, 2014.
- [4] T. Zhou, Q. Gao, N. Ma, et al., "Flight delay prediction based on clustering analysis and CHAID decision tree algorithm," Journal of Wuhan University of Technology, pp. 32-40, 2017.
- [5] F. Liu, J. Sun, M. Liu, et al., "Generalized flight delay prediction method using gradient boosting decision tree," IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 1-5, May 2020.
- [6] R. B. Wu, J. Y. Li, and J. Y. Qu, "Parallel flight delay prediction model based on fusion of meteorological data," Journal of Signal Processing, vol.34, pp. 505-512, 2018.
- [7] N. Xu, G. Donohue, K. B. Laskey, et al., "Estimation of delay propagation in the national aviation system using Bayesian networks," Proc. USA/Europe Air Traffic Manag. Res. Dev. Semin., ATM, pp. 353-363, June 2005.
- [8] E. Esmailzadeh, S. Mokhtarimousavi, et al., "Machine learning approach for flight departure delay prediction and analysis," Transp. Res. Rec., vol. 2674, pp. 145-159, 2020.
- [9] Scikit-learn: Machine Learning in Python, Pedregosa et al., JMLR 12, pp. 2825-2830, 2011.
- [10] Scikit-Learn Official Website [online]. Available at: <https://scikit-learn.org>
- [11] Bureau of Transportation Statistics, United States Department of Transportation [online]. Available at: <https://www.transtats.bts.gov/ontime/> [cit. 2023-08-15]
- [12] MÜLLER, ANDREAS C., GUIDO, SARAH. 2017. Introduction to Machine Learning with Python. 1st edition. O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2017. 398 pages. ISBN: 978-1-449-36941-5
- [13] PROJECT CODE. SOLOVIOV, MYKHAILO. 2024. Available at: https://github.com/michaelatt/flight_delay_prediction



VYUŽITIE MODERNÝCH TECHNOLOGIÍ V LETECKEJ PREPRAVE

Sofia Šimková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

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

Abstract

The Bachelor Thesis focuses on the analysis, comparison and proposal for improving the effectivity of air transport using automated check-in processes. The thesis analyses the characteristics of air transport of passengers, goods and mail, the digitalized processes in air transport, the baggage reclamation procedures and compliance with passenger rights. The Bachelor thesis also focuses on the analysis of laser scanners and RFID system and their comparison. Concrete proposals for the implementation of image scanners and RFID system for the efficiency of check-in processes at the M.R.Štefánik Airport are presented.

Keywords

Transportation, passengers, transportation process, digitalization, reclamation, optical scanning, RFID

1. Úvod

V roku 1914 sa elektroinžinier Percival Elliot Fansler a konštruktér Thomas Benoist spojili s cieľom zaviesť prvú komerčnú leteckú linku medzi Floridskými mestami St. Petersburg a Tampa cez záliv Tampa Bay. Ich úspešný let 1. januára 1914 otvoril cestu novým možnostiam v leteckej doprave. Na uvedenie tejto linky do prevádzky bolo nutné vytvoriť letové plány a letové poriadky, ktoré sa postupom času s pribúdajúcou prevádzkou pretvorili a vyvinuli na plánovacie a distribučné systémy, obsahujúce rozsiahle štatistiky a databázy letových poriadkov, kapacít letúnov, ktoré zároveň umožnia porovnanie ako aj tvorbu cenovej ponuky.

Medzi základné kritériá ďalšieho rozvoja leteckej dopravy v budúcnosti patrí zefektívnenie riadenia odbavovacích priestorov z hľadiska rýchlosti a presnosti, napríklad nahradením manuálnych odbavovacích procesov za automatizované odbavovacie procesy, efektívnejším využitím informačných technológií, zvýšením objemu prepravy, úrovne dodržiavania základných práv cestujúcich, zaisťovanie požadovanej bezpečnosti a v neposlednom rade vyššia úroveň poskytnutých služieb pre cestujúcich. Cieľom tejto záverečnej práce je zhrnutie charakteristík leteckej prepravy osôb, tovaru a pošty, zhrnutie faktov z oblasti doterajšej digitalizácie leteckej dopravy, reklamácie batožiny a komparácia technológií používaných v automatizovanom odbavovacom procese a ich implementácia na letisku, kde je v čase písania záverečnej práce využívaný manuálny odbavovací proces.

Záverečná práca je sústredená na informácie získané z internetových zdrojov, doplnené o faktografické údaje z odbornej literatúry. Prvá kapitola sa zaoberá definovaním leteckej prepravy osôb, tovaru a pošty a s tým spojenou kategorizáciou cestujúcich, prepravným procesom a mechanickým prostriedkom, ktoré sa používajú pri manipulácii s nákladom. Druhá kapitola je venovaná možnostiam digitalizácie v leteckej preprave, či už z hľadiska rezervačných systémov, inventárnych systémov, tarifných alebo odbavovacích systémov. V tretej kapitole je vysvetlené kedy môže byť batožina

reklamovaná, aký je postup pri reklamácií, rozdiel medzi postupmi pri stratenej, meškajúcej alebo poškodenej batožine a aké sú opatrenia pre minimalizovanie rizika straty batožiny pre cestujúcich. V poslednej kapitole je návrh zefektívnenia odbavovacích procesov pomocou implementovania skenerov s obrazovým snímačom alebo RFID systému.

2. Metodika a metódy skúmania

Záverečná práca zahŕňa informácie získané z internetu a odbornej literatúry a zaoberá sa definíciou leteckej prepravy, možnostami digitalizácie v oblasti rezervácií, tarif, odbavovacieho procesu a návrhom zlepšenia odbavovacích procesov pomocou moderných technológií ako sú skenery s obrazovým snímaním alebo RFID systém.

2.1. Charakteristické znaky leteckej prepravy osôb, tovaru a pošty

Letecká preprava je charakterizovaná rýchlosťou, schopnosťou prepravy na veľké vzdialenosti a možnosťou prístupu k menej prístupným destináciám. Je bezpečná a poskytuje pohotovostné služby aj v krízových situáciách. Má však vyššie náklady, menšiu skladovaciu kapacitu a je ovplyvnená meteorologickými podmienkami. Taktiež existujú obmedzenia týkajúce sa prepravy niektorých druhov tovarov.

Letecká preprava osôb musí spĺňať medzinárodné obchodno-prepravné štandardy definované organizáciami ako ICAO, IATA, ECAC a EASA. Existuje kategorizácia cestujúcich, ktorá určuje typy cestujúcich a ich špeciálne nároky. Medzi týchto cestujúcich patria dospelí, deti, infanti, nesprevádzané deti, chorí cestujúci, zdravotne postihnutí cestujúci, nevidiaci cestujúci, nepočujúci cestujúci, tehotné ženy, VIP cestujúci, nežiaduci a deportovaní cestujúci. Diplomacia pošta sa prijíma len od splnomocnencov diplomatickej misie a nepodlieha bezpečnostnej kontrole. Nežiaduci a deportovaní cestujúci môžu byť prepravovaní s eskortou, ale i bez nej. Deportovaní cestujúci v zákonnej väzbe sú vždy sprevádzaní eskortou počas leteckej prepravy.

2.1.1. Proces prepravy

Príprava na cestu na letisko je zodpovednosťou každého cestujúceho, cestujúci si musí stanoviť čas príchodu na základe času odletu danej linky, ktorý si môže nájsť v letovom poriadku leteckej spoločnosti, GDS informačných portáloch alebo na webových stránkach leteckých spoločností. Pred odletom je povinné, aby si cestujúci odbavil svoju batožinu na odbavovacom pulte. Proces odbavenia zabezpečuje, že len cestujúci s potvrdenou rezerváciou a zaplatenou letenkou na daný let, so správnymi osobnými, vízovými a zdravotnými dokladmi a s batožinou, ktorá sa zmestí do povolenej hmotnosti a veľkosti, sa dostanú na palubu lietadla. Cestujúci je registrovaný v systéme, je mu pridelené sedadlo v lietadle. Následne dostáva palubný lístok. Batožina je vážená a v prípade prekročenia hmotnostného limitu s ana nadbytočnú hmotnosť aplikuje poplatok podľa taríf leteckej spoločnosti. Batožina je označená batožinovým štítkom s čiarovým kódom, ktorý obsahuje informácie o majiteľovi batožiny a linke letu. Časť batožinového štítku je odovzdaná cestujúcemu, ako doklad v prípade straty batožiny. Cestujúci si potom vyzdvihne svoju batožinu až v cieľovej destinácii.

Existujú rôzne spôsoby odbavenia, ako napríklad spoločné (common check-in), podľa letu (flight check-in), individuálne (individual check-in), cez internet (web check-in) alebo samoobslužné (self check-in).

Odbavenie cestujúcich a ich batožiny môže byť vykonané manuálne, poloautomaticky alebo automaticky, v závislosti od veľkosti a technológie na letisku. Detekčné kontroly sú povinné pre všetkých cestujúcich a majú za cieľ zabrániť prenosu nebezpečných predmetov na palubu lietadla. Cestujúci musia podstúpiť pasovú kontrolu, ak letia mimo Schengenský priestor. Po pristáti na cieľovom letisku, cestujúci opúšťajú lietadlo, prechádzajú pasovou a colnou kontrolou a vyzdvihujú si svoju odbavenú batožinu. V prípade tranzitu alebo transferu, cestujúci pokračujú ďalej podľa pokynov letiskovej prevádzky.

2.1.2. Letecká preprava batožiny

Preprava batožiny je neoddeliteľnou súčasťou odbavovania na letisku. Na veľkých letiskách je kľúčovým faktorom efektívny batožinový systém s vysokou automatizáciou a bezpečnostnými systémami. Menšie letiská využívajú bežné mechanické prostriedky, ako sú batožinové vozíky a pásy. Odbavovací proces je štandardizovaný a riadený medzinárodnými postupmi leteckých spoločností.

Existujú dva systémy prepravy batožiny, hmotnostný a kusový. Batožina je rozdelená na príručnú a podanú batožinu. Maximálne rozmery a hmotnosť príručnej batožiny sú stanovené leteckou spoločnosťou. Individuálne letecké spoločnosti majú stanovené maximálne hmotnostné limity odbavených batožín, ktoré sa pohybujú medzi 15 až 32 kg pre každého cestujúceho. V prípade prekročenia týchto limitov je cestujúci povinný zaplatiť poplatok za nadváhu stanovený leteckou spoločnosťou. Pred nástupom do lietadla je dôležité, aby bola príručná batožina skontrolovaná, aby sa zistili prípadné zakázané predmety. Kontrola príručnej batožiny je vykonávaná pomocou röntgenových zariadení a ručnej prehliadky. Zakázané predmety v príručnej batožine zahŕňajú napríklad nákladné kvapaliny, ostré predmety, zbrane alebo nebezpečné chemikálie. Cestujúcemu, ktorý má zakázaný predmet v batožine, môže byť

odobraný a môže mu byť aj obmedzený vstup na letisko alebo do lietadla. Je preto veľmi dôležité dodržiavať pravidlá a smernice týkajúce sa prepravy batožiny pre bezpečnosť všetkých cestujúcich. Po bezpečnostnej kontrole musí byť odbavená batožina skladovaná v bezpečných priestoroch a v prípade akýchkoľvek podozrení je možná dodatočná bezpečnostná kontrola. Odbavovací systém musí zabezpečiť rýchlu a bezpečnú manipuláciu s odbavenou batožinou. Po pristáti je batožina triedená podľa destinácie a liniek, aby sa zabezpečila správna preprava cestujúcich. Všetky odbavené batožiny sa musia dostať do lietadla v plánovanom čase a bezpečne. Po pristáti je batožina odovzdaná cestujúcim buď manuálne, alebo automatizovaným spôsobom po kontrole batožinového lístku.

Prostriedky na manipuláciu s batožinou zabezpečujú účinné a spoľahlivé nakladanie a vykladanie batožiny z nákladového priestoru lietadla. Pre zamestnancov pozemnej obsluhy je dôležité minimalizovať riziko zranení tým, že si uľahčia prácu napríklad tým, že zaparkujú batožinové vozíky čo najbližšie k nakladačom, nehádzu batožinu, nechytajú padajúcu batožinu a pravidelne robia strečingové cvičenia. Na letiskách sa využívajú rôzne zariadenia na manipuláciu s batožinou, ako sú odbavovacie pásy, dopravníkové pásy a pásové nakladače. Batožinové kontajnery ULD slúžia na prepravu väčšieho množstva batožiny a sú štandardizované podľa rozmerov nákladných priestorov lietadiel. Na manipuláciu s ULD kontajnermi sa používajú špeciálne nákladné vozíky a nakladače.

2.1.3. Zvláštne druhy batožín a ich označenie

Nadrozmerná batožina, ako je napríklad lyžiarska výstroj, potápačská výstroj, golfová výstroj, bicykle a hudobné nástroje, sa prepravuje za špeciálny poplatok a môže byť odmietnutá z kapacitných dôvodov. Cenný tovar, ako peniaze, klenoty a umelecké predmety, sa prepravuje osobitne a musí byť dodatočne zabezpečený. Preprava živých zvierat je možná so súhlasom a dodržiavaním stanovených podmienok.

Zbrane a munícia môžu byť prepravované len so súhlasom dopravcu a podľa stanovených podmienok. Starožitné zbrane, napríklad meče alebo nože, sa prepravujú len ako odbavená batožina. Každý druh batožiny má svoje špecifické podmienky prepravy, ktoré je potrebné dodržiavať.

Batožinové štítky slúžia na identifikáciu a správne odbavenie batožiny cestujúcich. Existujú automatizované medzinárodné štítky, ktoré obsahujú údaje ako meno cestujúceho, čiarový kód, cieľovú destináciu a ďalšie informácie a manuálne medzinárodné štítky, ktoré sú vyplnené manuálne. Batožinové štítky môžu obsahovať rôzne označenia ako „Doručenie do vstupnej brány“, ktoré označuje príručnú batožinu, ktorá sa nedá umiestniť do úložných priestorov lietadla, a je odovzdaná pri vstupnej bráne cestujúcemu. Ďalším označením je „Batožina s potrebou rýchlej prepravy“, ktorá označuje batožinu, ktorá nebola prepravená spolu s majiteľom do cieľovej destinácie a potrebuje rýchlu prepravu bez poplatku. Ďalšie označenia môžu zahŕňať „Obmedzené vydanie“, „Ťažká batožina“, „Rýchly transfer“ a ďalšie, pri ktorých sa označuje pri osobitných podmienkach prepravy batožiny. Štítky môžu byť aj pre VIP cestujúcich, posádku lietadla alebo označiť batožinu dieťaťa bez sprievodu.

Je dôležité, aby sa batožinové štítky správne používali a interpretované, aby sa zabezpečila správna preprava batožiny a predchádzalo prípadným problémom.

2.2. Možnosti digitalizácie vybraných procesov pri leteckej preprave

Možnosti digitalizácie vybraných procesov v leteckej doprave sa zvyšujú vďaka vývoju informačných a riadiacich technológií. Rezervačné systémy, ako napríklad GABRIEL, umožňujú verejnosti rezervovať letenky prostredníctvom rôznych kanálov a poskytujú komplexné informácie o dostupných letových spojoch. Tieto systémy sú pripojené k dátovej sieti SITA a umožňujú rôznym leteckým spoločnostiam zdieľať informácie o rezerváciách a manažmente. Rezervačné systémy sú dôležitou súčasťou leteckej prevádzky a umožňujú efektívne spracovanie informácií o cestujúcich a ich letových plánoch. Investície do týchto systémov si vyžadujú finančné prostriedky, ale prinášajú výhody v podobe zvýšenej efektívnosti, spoľahlivosti a optimalizácie leteckej dopravy.

Inventárne systémy v leteckej doprave sú systémy, ktoré zaznamenávajú a udržiavajú informácie o letových plánoch, cenách, obsadenosti a rezerváciách pre budúce lety. Tieto systémy sú dôležité pre správu a riadenie leteckých spoločností, aby mohli efektívne plánovať lety a udržiavať konkurencieschopnosť. Existujú nájomné modely ako GABRIEL a vlastné systémy leteckých spoločností ako ALPHA III alebo FINNRES.

Globálne distribučné systémy (GDS) sú prostredníkom medzi leteckými spoločnosťami a cestovnými agentúrami, umožňujú predaj a distribúciu voľných kapacít a tvorbu leteniek. Populárne GDS zahŕňajú AMADEUS, SABRE a Travelport, ktoré poskytujú prístup k veľkému počtu leteckých spoločností, hotelov a ďalších služieb. Tieto systémy umožňujú cestovným agentúram a online portálom rezervovať letenky a služby ďalších poskytovateľov.

Zúčtovací a úhradový systém (BSP) je systém prevádzkovaný organizáciou IATA vo viac ako 180 krajinách pre viac ako 370 leteckých spoločností. Jeho hlavnou úlohou je zjednodušiť zúčtovanie a platby medzi predajnými agentúrami a leteckými spoločnosťami. Agentúry evidujú predaje a storná cez elektronickú službu BSPlink a tieto údaje sa posielajú do centra spracovania údajov BSP. Agentúry vykonávajú platbu za všetky transakcie pre jednotlivé letecké spoločnosti v rámci BSP. BSP tiež poskytuje web aplikáciu BSPlink na konsolidáciu finančných transakcií a správu ADM/ACM. Nové plány BSPlinku sú zamerané na efektívnosť, jednoduchosť a úspory pre letecké spoločnosti a agentúry.

Tarifné systémy v leteckej doprave sú dôležité pre vytváranie optimálnych cien a prilákanie širokej klientely. Organizácia IATA pomáha zjednodušiť pravidlá týkajúce sa taríf pre leteckú dopravu. Každá letecká spoločnosť si určuje tarify samostatne a stanovuje ich podľa vlastných dohôd a pravidiel. Interlining umožňuje cestujúcim cestovať s viacerými leteckými spoločnosťami na základe jednej zmluvy a letenky. Vďaka Interlining-u sa znižujú náklady a zlepšuje sa efektívnosť leteckej prepravy.

Odbavovacie systémy sú dôležitou súčasťou procesu odbavovania cestujúcich a lietadiel. Tieto systémy disponujú informáciami o technických parametroch lietadiel, ako aj o

rozložení nákladu a cestujúcich, čo je nevyhnutné pre správne vyváženie lietadla. Informácie získané zo systému odbavenia sa využívajú na generovanie loadsheet dokumentov, palubných lístkov a batožinových štítkov, ako aj na výpočet poplatkov za nadmernú batožinu. V súčasnosti sa odbavovacie systémy snažia zjednodušiť a zrýchliť proces odbavovania, čím sa znižuje čakacia doba pred odletom lietadla. Na medzinárodných letiskách je čoraz viac k dispozícii samoobslužných odbavovacích pultov pre cestujúcich, ktoré sú prepojené s letiskovým odbavovacím systémom.

2.3. Strata batožiny a aplikované postupy

Strata, poškodenie alebo oneskorené doručenie odbavenej batožiny nie sú časté, ale keď sa vyskytnú, je dôležité podať reklamáciu okamžite. Príčiny strát môžu byť chybné označenie batožiny, technické zlyhanie pri preprave, nesprávna manipulácia na letisku alebo poškodenie. Pri reklamacii je potrebné vyplniť správu o nezrovnalosti majetku a získať referenčné číslo. Cestujúci tiež musí podať písomnú reklamáciu leteckej spoločnosti. Ak cestujúci má problémy so získaním kompenzácie za reklamovanú batožinu, je možné kontaktovať Európske spotrebiteľské centrum v Slovenskej republike. WorldTracer je globálny systém na sledovanie batožín a ponúka riešenie pre stratenú batožinu. Pomocou tejto aplikácie môžu letecké spoločnosti rýchlo nájsť stratenú batožinu a minimalizovať riziko ďalšieho stratu.

Ak batožina cestujúceho alebo jej obsah je poškodený počas prepravy, cestujúci má právo na bezplatnú opravu, preplatenie nákladov za opravu alebo náhradu škody od leteckej spoločnosti. Cestujúci by mal oznámiť poškodenie leteckej spoločnosti do 7 dní od prevzatia batožiny a môže si vyžiadať náhradu až do výšky 1600 eur podľa Montrealského dohovoru. V prípade stratenia batožiny, cestujúci môže požiadať leteckú spoločnosť o náhradu nákladov, ktoré vznikli počas čakania na batožinu až do 21 dní. V prípade stratených asistenčných zariadení platia rovnaké pravidlá ako pre stratenú batožinu.

S tým, aby sa znížilo riziko straty batožiny, je dôležité, aby cestujúci starostlivo zvažili, čo umiestni do odbavenej batožiny. Krehké, cenné, dôležité alebo ťažko nahraditeľné predmety by mali byť prepravované v príručnej batožine. Ak cestujúci do odbavenej batožiny vloží napríklad nové oblečenie, je dôležité si uschovať alebo odfotiť účtenku, aby bolo možné následne získať peniaze za stratené veci. Odporúča sa tiež vyhotovenie fotografií obsahu batožiny pred cestou, aby sa mohli prípadne preukázať stratené veci pri reklamacii. Je užitočné mať aj fotografiu vonkajšieho vzhľadu kufra, čo môže pomôcť pri jeho lokalizácii v prípade straty. Batožinu je dobré odlišiť napríklad visačkou, pásikmi alebo nálepkami a skontrolovať, či údaje na visačke sú správne.

Mobilné aplikácie členských leteckých spoločností umožňujú jednoducho zistiť stav odbavenej batožiny, a cestovné poistenie môže byť užitočné na krytie nákladov v prípade straty, poškodenia alebo odcudzenia batožiny. V prípade poškodenia alebo straty batožiny je dôležité najskôr kontaktovať leteckú spoločnosť a následne poisťovňu, aby sa rýchlo a efektívne riešilo odškodnenie za straty. Je potrebné myslieť na to, že hodnotný majetok cestujúceho, ako napríklad šperky, umelecké predmety alebo vyšší obnos financií si musí cestujúci poistiť samostatne.

2.4. Návrh zefektívnenia postupov za pomoci využitia moderných technológií

Pri strate batožiny je dôležité optimalizovať postupy pomocou využitia moderných technológií. Bodmi sledovania, kde je pohyb batožiny zaznamenaný, sú odovzdanie batožiny na odbavovacom pulte, naloženie do nákladového priestoru lietadla, prevzatie pri zmene letísk a doručenie na dopravníkový pás.

2.4.1. Optické skenovanie

Optické skenovanie laserovým skenerom čiarových kódov je bežnou metódou, avšak hlavnou nevýhodou je, že na riadne skenovanie batožinového štítku je potrebné, aby bol batožinový štítok v priamej viditeľnosti skenera. Batožinové štítky sú často poškodené pri manipulácii, čím je znížená čitateľnosť počas prevádzky.

Skener s obrazovým snímačom je spoľahlivejší a rýchlejší, keďže nemá pohyblivé časti.

AirTrack S2 skener ponúka všesmerový čítací výkon za prijateľnú cenu. Má viacero operačných režimov, vrátane jednotlivého spúšťania, viacnásobného impulzu a vždy zapnutého režimu. Porovnanie s laserovými skenermi ukazuje výhody skenerov s obrazovým snímaním, najmä v schopnosti skenovať i poškodené batožinové štítky. Je dôležité investovať do moderných technológií pre efektívne a spoľahlivé sledovanie batožiny v prípade strát.

Na letiskách, ako napríklad Letisko Charles-de-Gaulle v Paríži a Letisko Phoenix Sky Harbor, sa úspešne implementovali skenery s obrazovým snímaním. Tieto skenery pomohli zvýšiť efektívnosť a rýchlosť odbavovania batožín, v niektorých prípadoch dosiahnutie až 99,3% úspešnosť skenovania. Príkladom je Phoenix Sky Harbor, kde prechod na skenery s obrazovým snímaním zlepšil úspešnosť skenovania o 3% a dokonca dokázali skenovať aj zle vytlačené a poškodené batožinové štítky s vysokou úspešnosťou. Tieto príklady svedčia o tom, že skenery s obrazovým snímaním sú efektívnym riešením pre zrýchlenie odbavovania batožín na letiskách.

2.4.2. Rádiofrekvenčná identifikácia (RFID)

V roku 2019 Valné zhromaždenie Medzinárodného združenia leteckých dopravcov schválilo použitie technológie RFID na sledovanie batožiny. Táto technológia využíva elektromagnetické polia na identifikáciu batožiny a umožňuje presné sledovanie v reálnom čase. RFID je oveľa presnejší ako tradičné metódy sledovania, s presnosťou čítania až 99,98%. V letectve sa najčastejšie používa pasívna ultravysokofrekvenčná technológia triedy 1 a generácie 2, UHF. Skenery RFID sú nainštalované na rôzne miesta, ako napríklad pri dopravníkovom páse, a poskytujú okamžité informácie o polohe batožiny. RFID skenery sú menej náročné na údržbu v porovnaní s tradičnými optickými skenermi a dokážu fungovať aj v náročných podmienkach. Je dôležité pravidelne kontrolovať signál a monitorovať stav skenerov RFID.

Implementácia RFID systému na letisku M.R.Štefánika v Bratislave má veľký potenciál priniesť významné úspory a zlepšiť efektívnosť manipulácie s odbavenou batožinou.

Náklady spojené s implementáciou RFID zahŕňajú nákup skenerov, antén, čipov, tlačiarň a softvéru. Pasívny RFID systém s pasívnymi čipmi je cenovo dostupnejší ako aktívny systém s aktívnymi štítkami. K inštalácii systému je potrebný odborník, ktorý nakonfiguruje zariadenia, antény a sieťové pripojenia. Následné náklady sú spojené s údržbou a licenciami softvéru. Vzhľadom na predpokladaný počet odbavených cestujúcich na letisku M.R. Štefánika bude potrebné zvážiť počet skenerov, tlačiarň a antén, aby systém fungoval efektívne a presne. Školenie zamestnancov na správnu obsluhu a využitie RFID systému je dôležité pre dosiahnutie očakávaných výsledkov a návratnosti investícií.

Porovnanie medzi RFID systémom a optickým skenovaním môže byť užitočné pri rozhodovaní o výbere technológie na sledovanie batožiny. RFID systém využíva bezdotykovú identifikáciu pomocou rádiového signálu, zatiaľ čo optické skenery využívajú vizuálnu identifikáciu pomocou čiarových kódov. RFID systém je schopný čítať štítky aj bez priamej viditeľnosti, čo s optickým skenovaním nie je možné. RFID systém má tiež vyššiu presnosť čítania, čo môže viesť k efektívnejšiemu spracovaniu batožiny. Na druhej strane, optické skenery sú často lacnejšie a ľahšie na implementáciu. Je dôležité zvážiť potreby a požiadavky letiska, aby sa rozhodlo, ktorá technológia je najvhodnejšia pre jeho prevádzku.

3. Výsledky

Záverečná práca sa zaoberala porovnaním laserových skenerov so skenermi s obrazovým snímaním a RFID systému s optickým skenovaním odbavenej batožiny na letisku M.R. Štefánika v Bratislave. Cieľom bolo nájsť najefektívnejší spôsob, ako zlepšiť manuálny proces odbavovania pomocou moderných technológií.

Implementácia skenerov s obrazovým snímaním by priniesla rýchlosť a presnosť pri skenovaní batožinových lístkov a znižovala by stratené batožiny. Taktiež by zlepšila komfort pracovníkov a nepotrebuje žiadne zásadné zmeny v infraštruktúre.

RFID technológia je dôležitá pre sledovanie batožiny na letisku a jej implementácia by zvýšila efektívnosť manipulácie s batožinou. V zavedení RFID systému na letisku by bola výrazne zlepšená manipulácia s batožinou a to by prispelo k celkovému zefektívneniu operácií a zníženiu nákladov pre letisko a letecké spoločnosti.

4. Záver

Letecká preprava je dôležitým prvkom logistického reťazca, ktorý je charakteristický rýchlosťou dodania tzn. Krátkymi dodacími lehotami, schopnosťou prepravy na veľké vzdialenosti a prístupom k menej prístupným destináciám.

V prípade prepravy cestujúcich zahŕňa letecký prepravný proces cestujúcich zahŕňa niekoľko krokov, z ktorých ako príklad je možné uviesť prepravu na letisko, odbavenie batožiny, či detekčnú kontrolu. Dôležitým aspektom je manipulácia a preprava batožiny, ktorá je obmedzená rozmermi a váhou, s rôznymi systémami manipulácie a úrovňou bezpečnostných opatrení. Každá batožina musí byť označená batožinovým

štítkom, ktorý je dôležitou súčasťou automatizovaného odbavovacieho systému. Musia obsahovať informácie o cestujúcom, o cieľovej destinácii batožiny a jedinečný čiarový kód.

Digitalizácia procesov v leteckej preprave prostredníctvom rezervačných systémov a inventárnych systémov, umožňujú leteckým spoločnostiam zvýšenie efektívnosti, spoľahlivosti a plánovania, a tým minimalizovanie nákladov a zlepšenie služieb pre cestujúcich. Odbavovacie systémy sú dôležité pre riadne odbavenie cestujúcich a lietadiel. Využívajú sa na správne vyváženie lietadla, rozloženie nákladu a cestujúcich. Systémy získavajú údaje z rôznych systémov evidencie a informačných systémov a vytvárajú odporúčania pre správne rozloženie cestujúcich a nákladu. Súčasným cieľom odbavovacieho procesu je zrýchlenie a skrátenie čakacej doby pred odletom a po pristáť v cieľovej destinácii, čo je možné dosiahnuť implementáciou alebo nahradením manuálnych postupov za automatizované odbavovacie postupy.

Záverečná práca bola venovaná komparácii laserových skenerov so skenermi s obrazovým snímaním a komparácii RFID systému s optickým skenovaním, v procese odbavenia batožín. Cieľom týchto komparácií bolo nájsť čo najlepšiu možnosť, ako zefektívniť a pozmeniť manuálny odbavovací proces na letisku M.R.Štefánika v Bratislave s využitím týchto moderných technológií.

Implementáciou skenerov s obrazovým snímaním by bolo možné zvýšiť rýchlosť celého odbavovacieho procesu, zvýšiť presnosť pri skenovaní batožinových lístkov a znížiť počet stratených batožín. Taktiež by bol zvýšený komfort pre pracovníkov pozemnej obsluhy lietadla. Náklady na zavedenie tejto technológie a jej údržbu sú pomerne nízke a nevyžadujú zmenu tlačiarň či špeciálne batožinové štítky.

Rádiofrekvenčná identifikácia je kľúčovou technológiou pri sledovaní batožiny na letiskách, s cieľom zvýšenia presnosti a efektivity manipulácie s batožinou. Implementácia RFID systému na letisku M.R.Štefánika v Bratislave by priniesla významné zlepšenie v sledovaní a manipulácii s batožinou, čo by viedlo k zvýšeniu efektivity a zníženiu nákladov letiska a leteckých spoločností.

Referencie

- Across logistics,5.10.2022. Air Transport. Types and characteristics. Madrid.[cit. 26.10.2023].Dostupné na internete:
<https://https://acrosslogistics.com/blog/en/air-transportation-types-and-characteristics>
- Across logistics,5.10.2022. Air Transport. Types and characteristics. Madrid.[cit. 27.10.2023]. Dostupné na internete:
<https://acrosslogistics.com/enhttps://acrosslogistics.com/blog/en/air-transportation-types-and-characteristics>
- Allianz Travel, 2023. The Airline Lost My Luggage. What Should I Do ?. Richmond. [cit. 07.01.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.allianztravelinsurance.com/travel/flight/what-to-do-if-an-airline-loses-your-luggage.htm>

- CARRICK, Evie, 31.12.2019. Everything You Need To Know About Gate Checking Your Bag. Paríž. [cit. 02.11.2023]. Dostupné na internete:
<https://www.travelandleisure.com/airlines-airports/airport-gate-check-carry-on-bag>
- Dynamsoft,19.06.2019. Analysis: Laser-Based Barcode Scanners vs 2D Imagers for Barcode Scanning. Vancouver. [cit. 15.01.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.dynamsoft.com/>
<https://www.dynamsoft.com/blog/insights/laser-barcode-scanners-vs-2d-imagers/>
- IATA, 03.04.2024. Air Cargo Demand Maintains Double-Digit Growth in February. Vydanie č.12. [cit. 10.04.2024] Dostupné na internete: <https://www.iata.org/>
<https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-04-03-01/>
- IATA, November 2019, RFID Implementation Guide, RFID Sub-working Group Issue 2.0. Geneva. [cit. 20.02.2024].
- IATA. Travel & Baggage. Montreal, Geneva. [cit. 02.01.2024]. Dostupné na internete: <https://www.iata.org/>
<https://www.iata.org/en/youandiata/travelers/baggag e/>
- ITAérea, 2020. Air Transport. Madrid. [cit. 26.10.2023] Dostupné na internete: <https://www.itaerea.com/>
<https://www.itaerea.com/air-transport>
- KASHIF, Saleem, 28.05.2019. Barcodes vs RFID. Houston. [cit. 15.01.2023]. Dostupné na internete:
<https://trackem.com.au/>
<https://trackem.com.au/barcodes-vs-rfid/>
- LEGAMART, 2023. Which country's laws are enforced during international flights? Londýn. [cit. 26.10.2023] Dostupné na internete: <https://legamart.com/>
<https://legamart.com/articles/international-flights/>
- Security Label. Delivery at Aircraft. [cit. 02.11.2023]. Dostupné na internete: <https://security-label.de/en/>
<https://security-label.de/en/labels/delivery-at-aircraft/>
- Skybrary,2021. Transporting Live Animals by Air. [cit. 30.10.2023]. Dostupné na internete:
<https://skybrary.aero/articles/transporting-live-animals-air>
- SNYDER, Brett, 19.03.2013. No More Lost Bags? US Airways Now Lets You Track Luggage in Real Time. [cit. 02.11.2023]. Dostupné na internete:
<https://www.cntraveler.com/>
https://media.cntraveler.com/photos/53d9d547dcd5888e145a4a31/16:9/w_1280,c_limit/baggage-tag-barcode-airport.jpg
- Star Alliance, 2023. Baggage Tracking. [cit. 08.01.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.staralliance.com/en/>
<https://www.staralliance.com/en/baggage-tracking>
- VANHOENACKER, Mark, 11.10.2012. The simple genius of the airline baggage tag. [cit. 02.11.2023]. Dostupné na internete:<https://www.smh.com.au/traveller/reviews->

and-advice/the-simple-genius-of-the-airline-baggage-tag-20121010-27daw.html

Vyhláška č.17/1966 Zb. Ministerstva dopravy Slovenskej republiky z 29.03.1966 o leteckom prepravnom poriadku [cit. 27.10.2023]. <https://www.slov-lex.sk/domov> <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/1960/31/19600405.html>

Williams, C. K., & Sawyer, S. (2017). Using Management Information Systems to Improve Customer Service in the Airline Industry. *Journal of Airline and Airport Management*, 7(2), 76-89.

WIZZ AIR UK LTD., 01.07.2020. General Conditions of Carriage of Passengers and Baggage. [cit. 05.11.2023]. Dostupné na internete: <https://wizzair.com/en-gb>



LETECKÉ MULTISPEKTRÁLNE SNÍMKOVANIE V POĽNOHOSPODÁRSKOM ODVETVÍ

Marco Šmidt
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Patrik Veľký
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This thesis focuses on the possibilities of applying airborne detection in many bands. Possibilities of multispectral detection in direction of use such as animal monitoring or scarecrow placement. In another direction of using thermal imaging for finding temperature anomalies or obtaining information from UAV sensors to improve economics in agriculture, light reflectance, electromagnetic spectrum, comparing satellites and UAVs in agriculture, and vegetation indices. The analysis of the studies was based on simulations and calculations followed by laboratory tests and external measurements. Using certain sensors operating in the corresponding regions of the frequency spectrum, the detection ranges of the drones were used to find the outputs derived from the calculated and simulated values, where a comparison of the studies followed.

Keywords

Temperature anomalies, electromagnetic spectrum, sensors, detection, analysis

1. Úvod

V tomto článku sa budem venovať leteckému snímkovaniu bezpilotných lietadiel. Oboznamovanie s jednotlivými možnosťami, ktoré doposiaľ máme a ako sa naďalej dajú využívať v poľnohospodársky prospech, ako potrebné rýchlo a efektívne vyhodnotiť oblasť, ktorá trpí negatívnymi vplyvmi na plodiny. Výsledky mapovania zahŕňajú nielen typické letecké mapy, ale aj digitálne modely povrchu, termálne mapy a multispektrálne mapy kvôli plodinám. Najmä kombinácia výstupov zo senzorov vytvára jedinečnú aplikáciu leteckého mapovania. Nami získané a preskúmané údaje poskytujú významnú pridanú hodnotu a široké možnosti budúceho využitia.

Taktiež sa zameriam na používanie bezpilotného lietadla v poľnohospodárstve, ktorý poskytuje komplexný obraz polí a plodín. Letecké mapovanie pomocou multispektrálneho senzora môže odhaliť vysychanie rastlín, heterogenitu pôdy a otvoriť nové možnosti hodnotenia obsahu chlorofylu a živín v rastlinách. Zozbieranie a vyhodnotenie údajov, ktoré pomôžu prijímať informovanejšie rozhodnutia a zlepšiť zdravie plodín a tým aj zabezpečiť finančný rast pre poľnohospodárov. Taktiež zahŕňam metódy a využitia bezpilotného lietadla a multispektrálnej detekcie v poľnohospodárstve. Vybavenie bezpilotného lietadla je tiež ďalším z faktorov, ktoré súvisia s danou problematikou. Kvôli výbave bezpilotného lietadla senzormi, ktoré sú špecializované na určité miesta ako napríklad termovízia na vyhľadávanie tepelných anomálií na území, technológia LiDAR.

Musíme dbať aj na výsledky analyzovaných štúdií, aká je štatistika a pravdepodobnosť napadnutia plodiny baktériou, hubami alebo inými parazitmi. Ďalej sa zaoberám v akej miere je využívané snímkovanie v RGB, CIR snímkovanie alebo termálne snímkovanie. Aké plodiny sú najviac využívané na testovanie a ktoré sú naopak náchylnejšie na nákazu. Taktiež aký typ bezpilotného lietadla je najviac využívaný pri daných misiách, pričom zvíťazila kvadroptéra.

2. Zobrazovanie a prehľad súčasných aplikácií

2.1. Radarové a rádiovfrekvenčné metódy na detekciu bezpilotných lietadiel

Pred experimentmi s radarovým spektrom sa uskutočnil výskum špecifických frekvencií, kde sa zisťovali vhodné podmienky na detekciu malých cieľov. Pásmo X bolo zahrnuté ako prvé v dôsledku malého RCS. Toto pásmo sa využíva pri radaroch s kratším dosahom, čiže do 100km.

Vlastnosti cieľa sú dôležité pri detekcii v skutočnom spektre, pretože odrazený signál cieľa sa pred odoslaním naspäť modifikuje do radarového prijímača. Možné zmeny spôsobujú vlastnosti objektu, ktorý bol zachytený. Odraz ovplyvňuje mnoho faktorov ale najrozhodujúcejší je typ materiálu a tvar. Ďalším z mnohých faktorov je vzťah medzi rozmermi cieľa, polarizáciou vlny a vlnovou dĺžkou. Schopnosť odrazu cieľa sa posudzovala podľa RCS nakoľko presné určenie nebolo možné [10].

2.2. Princíp hĺbky prieniku do tkaniva

Svetlo preniknúť do hĺbky biologických tkanív predtým, ako sa absorbuje alebo rozptýli, čo sa následne označuje ako hĺbka prieniku do tkaniva. Závisí od vlnovej dĺžky svetla, ako aj od optických vlastností tkaniva vrátane jeho indexu lomu, absorpcie a rozptylu. Svetlo s dlhšou vlnovou dĺžkou preniká do tkaniva hlbšie ako svetlo s kratšou vlnovou dĺžkou. Svetlo s kratšími vlnovými dĺžkami (menej ako 500 nm) je vo väčšine prípadov rozptýlené [2].

3. Využitie bezpilotných lietadiel v poľnohospodárskom odvetví

Na identifikáciu zdravotného stavu plodín sa využívajú dve metódy.

Zobrazovanie NDVI je prvou metódou, ktorá vyhodnocuje index vodného stresu, čiže mieru nedostatku vody. Hodnotí farbu rastliny a určuje množstvo chlorofylu v jej tele na základe odrazu v blízkej infračervenej oblasti spektra. Pomocou termovíznej kamery, ktorá zachytáva túto časť spektra, je možné identifikovať nedostatok vody a okamžite prijať opatrenia, ako dôjde k väčším škodám v poľnohospodárstve, čo bude mať za následok aj finančnú stratu [1].

Druhou metódou je zobrazovanie CWSI (Indexu vodného stresu plodín), ktorý pracuje na báze odparovania vody z povrchu rastliny a využíva sa na odhad stavu vodného stresu rastliny [1].

Bezpilotné lietadlá môžu poskytovať oba tieto spôsoby snímania pomocou multispektrálnych a RGB senzorov (spolu so špecializovaným softvérom) [1].

Okrem rastlín môžu bezpilotné lietadlá so správnym softvérom monitorovať a analyzovať stav pôdy. Pomocou spektrálnej analýzy sa dokáže určiť presné množstvo hnojiva, ktoré je potrebné na aplikovanie v určitých územiach. Taktiež identifikujú oblasti napadnuté škodcami, vytvoriť plán výsadby a ponúknuť údaje pre vhodné použitie zavlažovacích prostriedkov a odporučiť najlepší čas na zber [1].

Aplikácia chemických prostriedkov bezpilotnými lietadlami na plodiny sa pravdepodobne v blízkej budúcnosti zmení a nahradia ich práškovacie stroje na poliach na stále vykonávanie. Patrí k nim postrekovací systém, čerpadlá a snímače prietoku na presné dávkovanie prášku [1].

Spočítanie plodín za určitý čas je určite najťažším faktorom pri presádzaní plodín. Neskoré vysadenie kukurice alebo sóje, môže zapríčiniť skoré vyvinutie pred prvými jesennými mrazmi, čo má za následok zníženie finančného potenciálu. Rozhodnutie nepristúpiť k opätovnej výsadbe však so sebou prináša aj vlastné riziká. Aj niekoľko semien v riadku, ktoré nevyklíčia, môže mať za následok tisíce rastlín na akre, ktoré sa nevyvinú tak, aby vytvorili zdravú úrodu [3].

Bezpilotné lietadlá nedokážu predvídať, kedy nastanú prvé mrazy ale naopak môžu poskytnúť presnejšie údaje o počte rastlín a zdravotnom stave plodín. Taktiež by sa nemali využívať na vo vysokých teplotách, kvôli batériám v ktorých môže dôjsť k prehriatiu a následnej explózií. Bezpilotné lietadlá zachytávajú a spracúvajú presné údaje dostatočne rýchlo na to, aby pomohli pri rozhodovaní o opätovnej výsadbe. Poskytujú poľnohospodárom informácie, ktoré potrebujú na optimalizáciu výrobného potenciálu [5].

Multispektrálne senzory získavajú údaje, ktoré umožňujú viac než len kategorizáciu rastlín. Táto fotografia môže tiež vkladať informácie do počítačov na rozpoznávanie a počítanie rastlín, čo poľnohospodárom šetrí čas a zlepšuje prognózy produkcie. [4]

V poslednom využití sa drony využívajú aj na rozmiestňovanie plašičov vtákov alebo vo všeobecnosti na monitorovanie zvierat.

3.1. Metódy využívania multispektrálnej detekcie

Existuje množstvo metód multispektrálnej detekcie, ktoré sa využívajú v súčasnosti a stále sa implementujú nové technológie.

3.1.1. Technológia LiDAR

Technológia LiDAR inak nazvaná ako detekcia svetla sa vyznačuje schopnosťou ako efektívne zamerať elektrické vedenia s presnosťou. Ďalšou výhodou je, že laserový lúč môže preniknúť cez listy, čo umožňuje vynikajúce zameranie skutočnej topografie v regióne. Okrem toho, keď sa výsledky LiDAR-u spoja s konvenčným leteckým mapovaním, vzniknú geograficky a vizuálne najrozsiahlejšie a najpresnejšie údaje o skúmanej oblasti, aké je doposiaľ možné získať pomocou súčasnej technológie [6].

3.1.2. Termovízia

Termovízia je dlho považovaná za užitočný a dôležitý nástroj v multispektrálnom snímkovaní. Bezpilotné lietadlá však túto technológiu naďalej rozvíjajú. Vysokokvalitná kamera, slúžiaca na termovíziu spoločne s bezpilotným lietadlom dôsledne identifikujú aj menšie teplotné anomálie, ktoré bežné pozemné snímání nedokáže identifikovať. To umožňuje rýchlo a efektívne pokryť veľkú oblasť v poľnohospodárstve [8].

3.1.3. BIM (Modelovanie informácií)

Integrácia softvéru a leteckého mapovania, ktoré sa spájajú do jedného celku, čo následne tvorí BIM. Spája presnosť leteckých údajov a hodnotu 3D modelov. Toto spojenie otvára možnosti na plánovanie, riadenie a spoluprácu [7].

3.2. Vhodný výber bezpilotného lietadla AGRAS MG-1S

Spoločnosť DJI zostavilo bezpilotné lietadlo, ktoré poskytuje komplexný stav na ovládanie letu, stavu postreku a zvyšovania produktivity v poľnohospodárstve. Lietadlo je vybavené dvomi kompatibilnými čerpadlami, ktoré samostatne obsluhujú prednú a zadnú sadu trysiek a umožňujú 3 režimy postreku. Postrek dopredu, dozadu a plný obojstranný. Dron je vybavený novými snímačmi tlaku a prietoku, ktoré monitorujú aké množstvo postreku vychádza von, čo umožňuje dynamické riadenie rýchlosti. Tento postrekovací mechanizmus reaguje na ovládanie mimoriadne presne, čo vedie ku zvýšeniu produktivity [11].



Obrázok 1. AGRAS MG-1S pri postrekovaní plodín

3.3. Vlastnosti využívania multispektrálnych snímačov

Multispektrálne senzory majú schopnosť detegovať odrazené svetlo v rôznych farebných spektrách, čo umožňuje zhromažďovať údaje týkajúce sa pôdy a rastlín. Senzory sa taktiež využívajú v diaľkovom prieskume, pretože umožňujú

zbierať geografické informácie ako aj monitorovať zmeny životného prostredia.

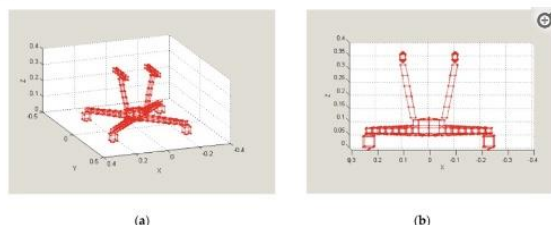
Tieto snímače sú vyrobené na citlivosť fotosyntézy rastlín, čo umožňuje sledovať zdravie rastlín a presne určiť oblasť v ktorej musí byť daná problematika vyriešená.

Vytváranie Indexu pracuje na báze, že počítač spracuje získané údaje zo senzorov a vytvorí rôzne indexy ako napríklad NDVI a NDRE. Tieto indexy poskytujú informácie o stave vegetácie a taktiež pomáhajú pri efektívnom riadení poľnohospodárstva [7].

4. Výpočty a simulácie

Pomocou softvérových nástrojov v programe SuperNEC boli vytvorené počítačové modely predstavujúce kvadroptéru a hexokoptéru, následne boli oba modely doplnené o možné zaťaženie. Napriek tomu sa v posledných fázach vývoja návrhu modelu mierne líšil od skutočných tvarov bezpilotného lietadla. Softvér SuperNEC nebol navrhnutý na navrhovanie objektov takýchto malých rozmerov, čo viedlo k týmto problémom. Následne sa vykonala simulácia, na základe ktorej sa vygenerovali výsledky vyžiareného výkonu a určila sa RCS každého zariadenia. Na získanie čo najpresnejších výsledkov bolo tiež potrebné zabezpečiť, aby boli pre rôzne časti bezpilotného lietadla zvolené správne materiály z hľadiska elektrickej vodivosti. Materiály z ktorých pozostávalo bezpilotné lietadlo boli väčšinou kovy a plasty. Pre motor a základnú dosku, na ktorej je umiestnená celá avionika, bola materiálom meď. Jedna látka sa použila ako elektrický izolant. Ďalší krok zahŕňal meranie vzdialeností medzi žiaričmi signálu a ožarovanými vozidlami v určitej vzdialenosti a nastavenie počtu žiaričov na 3 (čo zabezpečilo všesmerové vyžarovanie) [10].

Figure 7



Obrázok 2. Model kvadroptéry v programe SuperNEC

Do výpočtového matematického programu MATLAB sa dostali všetky vypočítané hodnoty, ktoré tam boli exportované [10].

V samostatnej štúdii bola použitá multispektrálna zobrazovacia technológia na rýchlu identifikáciu obsahu ZEN v kukuričných zrnách. Stanovili sa tri úrovne kontaminácie a použili sa rôzne chemometrické techniky, pričom GA-BPNN sa ukázala ako najúčinnnejšia metóda na kvalitatívnu aj kvantitatívnu detekciu ZEN. Táto technika dosiahla presnosť až 93,33 % pri kvantitatívnej detekcii úrovne kontaminácie. Tento výskum zdôrazňuje význam rýchlych a účinných metód detekcie ZEN a zdôrazňuje rozhodujúcu úlohu strojového učenia a multispektrálnej zobrazovacej technológie pri zabezpečovaní bezpečnosti kukuričných zŕn.

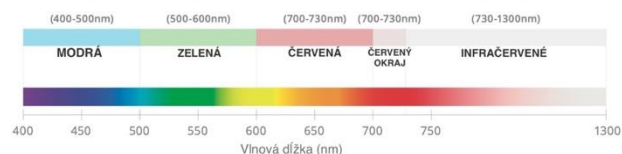
5. Viditeľné a využiteľné spektrum farieb

Viditeľné svetlo a svetlo je len malá časť elektromagnetického spektra. Existujú vlnové dĺžky svetla, ktoré sú podstatne kratšie aj dlhšie ako 400-700 nm, ktoré sú viditeľné pre ľudský zrak.

Existujú dva hlavné prístupy k obnove spektra a obrazu. Tradične sa na rekonštrukciu spektier používa viacero filtrov s rôznymi vlnovými dĺžkami s veľmi malou spektrálnou šírkou, a to analýzou intenzity zaznamenananej detektorom pod každým filtrom. V dôsledku toho sa môže zobraziť niekoľko fotografií predmetu pri rôznych vlnových dĺžkach. Aby sa však dosiahlo vysoké spektrálne rozlíšenie, tento prístup si vyžaduje veľký počet filtrov s veľmi malou spektrálnou šírkou, čo vedie ku rozdielu medzi priestorovým a spektrálnym rozlíšením.

Druhý prístup rekonštrukcie sa spolieha na náhodné filtre. Táto metodika vyžaduje na získanie vysokého spektrálneho rozlíšenia menej filtrov ako predchádzajúca metóda, ale je založená na podobnej báze.

Nedávno bol navrhnutý jedinečný systém zobrazovania spektra, ktorý kombinuje malý počet multispektrálnych filtrov, čo umožňuje priamejšie generovanie spektrálnych snímok pri konkrétnych vlnových dĺžkach. V tomto scenári nie sú obzvlášť úzke šírky pásma filtrov vždy ideálne, pretože užšie šírky pásma síce poskytujú lepšie spektrálne rozlíšenie, ale zároveň poskytujú menej údajov, pomocou ktorých možno trénovať neuronovú sieť [7].



Obrázok 3. Vlnové dĺžky

Multispektrálne obrazové snímače sú široko používané, pretože dokážu rozoznať kritické detaily, ktoré bežné kamery nedokážu. Napríklad zberom údajov na okraji červeného spektra (RED = 650 nm - 700 nm) a NIR (700 nm - 750 nm) možno vypočítať rozdielový vegetačný index (NDVI) ako $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$, ktorý sa potom môže použiť na jednoduché rozlíšenie zdravých a nezdravých rastlín. Okrem toho súčasné komerčné senzory plynov môžu odhadnúť hustotu zmesí plynov len v obmedzených prípadoch, pretože ich spektrálne meranie s jednou vlnovou dĺžkou nedokáže rozlíšiť plyny s vlnovými dĺžkami absorpcie [9].

5.1. Vegetačné indexy

Prístup k údajom o zdravotnom stave vegetácie je dôležitým doplnkom k poľným pozorovaniam a jeho výsledky môžu plodinu vážne ovplyvniť alebo dokonca zničiť. Zatiaľ, čo jednoduchý letecko-bezpilotný prehľad môže poľnohospodárom pomôcť pri vizualizácii možných problémov s ich pozemkami, analýza multispektrálnych snímok môže byť podstatne užitočnejšia pri získavaní poznatkov o variabilite polí v priebehu mnohých vegetačných období [7].

Termín "vegetačné indexy" sa používa už niekoľko desaťročí. Ide o algoritmy, ktoré porovnávajú percentuálny podiel svetla

zaznamenaného v rôznych spektrálnych pásmach elektromagnetického spektra. Vegetačné Indexy používajú poľnohospodári na získanie leteckého pohľadu na svoje polia, vedci ich pôvodne navrhli ako spôsob hodnotenia odrazu od zemského povrchu na satelitných snímkach. Existuje množstvo vegetačných indexov, ktoré ponúkajú rôzne pohľady na rôzne aspekty farmy a počítajú sa rôznymi spôsobmi [7].

V súčasnosti je možné kombinovať množstvo multispektrálnych fotografií a vytváranie máp vegetačných indexov. Mapy môžu pomôcť odhaliť dôležité detaily o zavláženosti, pôdnych podmienkach a taktiež o prežití rastlín.

6. Letecké perspektívy

Tradiční poskytovatelia poľnohospodárskych služieb často zahŕňajú satelitné údaje o zdravotnom stave vegetácie do svojho celkového hodnotenia, dostupnosť použiteľných údajov závisí výlučne od druhu odborných služieb, ku ktorým má poľnohospodársky podnik prístup a od priaznivých poveternostných podmienok na to, aby boli satelitné údaje užitočné, je potrebná jasná obloha. Univerzálnou náhradou za zber multispektrálnych údajov, ktoré sú istejšie počas vegetačných období a majú oveľa väčšie rozlíšenie, je využitie bezpilotných lietadiel.

Dôležitá je presnosť leteckých máp, ktorá sa niekedy vyjadruje v termínoch GSD (Ground Sample Distance), čo predstavuje vzdialenosť medzi stredmi dvoch po sebe nasledujúcich mapových pixelov. Rozlíšenie a presnosť sa zvyšujú s menšou GSD. Bepilotné lietadlo môže dosiahnuť len 3 cm/pixel, zatiaľ čo satelit môže dosiahnuť až 30 m/pixel [7].

6.1. Porovnanie medzi satelitnými snímačmi a snímačmi bezpilotných lietadiel

Satelitné snímače - pri snímkovom rozlíšení a kvalite dát sa pri 3-5 metroch naznačuje prítomnosť problémov v danom teréne, ktorý taktiež súvisí s počasím a k strate údajov dochádza vtedy, keď je obloha pokrytá mrakmi.

Prístupnosť satelitu je dobrá ak je počasie ustálené, snímky sa získavajú zo satelitných zdrojov napríklad z USGS EarthExplorer, ktoré sú následne vkladané do systémových programov ako je ArcGis na zobrazovanie indexových máp vegetácie [7].

Snímače bezpilotných lietadiel - pre najefektívnejšie snímkové rozlíšenie a kvalitu dát sa využíva výška letu menšia ako 100 metrov, ktorá poskytuje 3-5 centimetrov s GSD a okolo 5tich centimetrov na presné informácie o mieste a potenciálnom probléme. Zakaždým, keď je vykonávaná misia letu sa získavajú spoľahlivé údaje, ktoré sú následne upravené podľa úrovne slnečného svitu [7].

Úplný prístup k využívaniu bezpilotného lietadla sa sprístupní hneď po tom, ako sa budú prejavovať nadobudnuté zručnosti a znalosť používania a vykresľovania požadovaných a určite po úspešnom ukončení testu.

7. Výsledky štúdií

Bolo zistené, že bezpilotné lietadlá, ktoré sa využívajú na zisťovanie a mapovanie chorôb v plodinách sú prevažne kvadrokoptéry z pomedzi hexakoptéry, oktokoptéry alebo

bezpilotné lietadlo s pevnými krídlami. Vo veľkej časti sa štúdie zameriavajú na zisťovanie baktérií alebo chorôb, ktoré sú tým najdôležitejším problémom pre farmárov. Farmári majú najväčší podiel na využívaní multispektrálnej detekcie. Turistický sektor predstavuje 3% využívania multispektrálneho snímkovania [12].

Kvadrokoptéra bola najčastejšie používanou formou bezpilotného lietadla. Zistenie z výskumu naznačuje, že za to môžu najmä finančné motivácie ale aj manévrovateľnosť. Bepilotné lietadlo sa využíva s väčším doletom alebo súčasne v roji na pokrytie veľkého terénu. Je nevyhnutné vykonať komplexné preskúmanie vzťahu medzi typom bezpilotného lietadla a veľkosťou poľa.

Nákaza baktériou a vädnutie sú dve hlavné kategórie chorôb s veľmi výraznými príznakmi na multispektrálnej snímke. Tieto dve kategórie chorôb boli predmetom analýzy údajov z bezpilotných lietadiel. Okrem toho sa ukázalo, že hlavnými infekciami spôsobujúcimi choroby, ktoré boli zistené bezpilotnými lietadlami, je baktéria a huba. To je v súlade s pozorovaniami, že hubové ochorenia sa prejavujú aj navonok. Naznačuje to, že primárnym účelom bezpilotných lietadiel je zisťovanie chorôb s navonok viditeľnými príznakmi ako aj využívanie infračerveného spektra a zisťovanie dôkladných informácií z plodín listov [12].

Hlavnou funkciou, ktorú vykonávajú bezpilotné lietadlá pri zisťovaní chorôb, je kategorizácia, detekcia, monitorovanie, a identifikácia. To znamená, že sa hodnotí zdravotný stav rastliny alebo oblasti poľa v súvislosti so skúmanou chorobou, hoci samotná choroba nemusí byť identifikovaná. Zdá sa, že poľnohospodári sú v každej situácii aktívni, pretože po analýze údajov zozbieraných bezpilotnými lietadlami musia prijať opatrenia. Pozoruhodným zistením je, že podľa 30 % nájdených publikácií môže vedecká komunita využiť údaje pre ďalšie projekty. Pri zisťovaní chorôb sa zhromažďuje široká škála údajov. Možno to pripísať skutočnosti, že výskum v tejto oblasti stále prebieha [12].

8. Záver

Multispektrálne zobrazovanie pomocou bezpilotných lietadiel sa stalo cenným nástrojom v modernom poľnohospodárstve, ktorý poskytuje bezprostredný a vysokoúčinný pohľad na zdravie plodín a umožňuje včasné rozhodovanie založené na údajoch zistených zo snímkov. Táto technológia zachytáva obrazy vo viacerých vlnových dĺžkach elektromagnetického spektra vrátane viditeľného a neviditeľného (infračerveného a ultrafialového) svetla. To umožňuje zistiť jemné zmeny v zdraví rastlín, stres a úroveň živín, ktoré nie sú viditeľné voľným okom. Kombinácia multispektrálnych senzorov namontovaných na bezpilotných lietadlách a pokročilého softvéru na analýzu údajov umožňuje poľnohospodárom prijímať informovanejšie rozhodnutia založené na údajoch, ktoré optimalizujú výnosy plodín, využívanie zdrojov a udržateľnosť. Keďže výzvy v oblasti poľnohospodárstva, ako je rast populácie a zmena klímy, sa neustále zvyšujú, multispektrálne zobrazovanie je pripravené zohrávať čoraz dôležitejšiu úlohu pri umožňovaní efektívnejšej, odolnejšej a ekologickejšej výroby potravín.

Referencie

- [1] MÁM DRON, „www.mamdron.sk,“ Využitie dronov v poľnohospodárstve [Online]. Dostupné na: <https://mamdron.sk/vyuzitie-dronov-v-polnohospodarstve/>
- [2] FEIYAN MA MD, PHD.; MINGZHEN YUAN MD (2023). Multispectral imaging: review of current applications [Online]. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0039625723000851>
- [3] COPTRZ, „www.coptrz.com,“ The goal of multispectral imagery [Online]. Dostupné na: <https://coptrz.com/blog/14-ways-to-use-multispectral-imagery-in-agriculture/>
- [4] ÚKSÚP, „www.uksup.sk,“ Metodický pokyn ÚKSÚP č. 1/2024 - Postup povoľovania leteckých aplikácií prípravkov na ochranu rastlín a pomocných prípravkov na ochranu rastlín v 1. stupni ochrany prírody a krajiny [Online]. Dostupné na: <https://www.uksup.sk/oor-letecke-aplikacie>
- [5] COMPUTAR, „www.computar.com,“ Multispectral and Hyperspectral imaging impact on agriculture [Online]. Dostupné na: <https://www.computar.com/blog/multispectral-and-hyperspectral-imagings-impact-on-agriculture>
- [6] GEOMAD, „www.geomad.sk,“ LiDAR, ako mení spôsob, akým vidíme svet [Online]. Dostupné na: <https://geomad.sk/lidar-ako-meni-sposob-akym-vidime-svet/>
- [7] DJI, „www.gim-international.com,“ Multispectral imaging drones for agriculture: Crop health data at your disposal [Online]. Dostupné na: <https://www.gim-international.com/files/8d85f099ae4f5ca5aa4406ff956bead0.pdf>
- [8] GEOMAD, „www.geomad.sk,“ Letecké mapovanie [Online]. Dostupné na: <https://geomad.sk/sluzby/letecke-snimkovanie/>
- [9] PRO-DRONY, „www.pro-drony.sk,“ Prevádzka bezpilotných lietadiel (UAV) začína s postupujúcim časom zasahovať do viac odvetví priemyslu i zábavy [Online]. Dostupné na: <https://www.pro-drony.sk/aplikacie/inspekcia-v-polnohospodarstve/>
- [10] FARLIK J.; M.KRATKY. (2019). Multispectral detection of commercial unmanned aerial vehicles [Online]. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/7/1517>
- [11] DJI, „www.dji.com,“ AGRAS MG-1S [Online]. Dostupné na: <https://www.dji.com/sk/mg-1s>
- [12] RUBEN CHIN; CAGATAY C.; KASSAHUN A. (2023). Plant disease detection using drones in precision agriculture [Online]. Dostupné na: <https://edepot.wur.nl/590820>



VÝVOJ PRÍSTROJOVÉHO VYBAVENIA LIETADIEL VŠEOBECNÉHO LETECTVA

Peregrína Uhríková
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The bachelor's thesis is devoted to the development of general aviation aircraft instrumentation. It contains a detailed description of the principle of operation of individual elements of the analog instrument panel. The separate text is supplemented with pictorial material, where the structural part of the instrument elements is drawn in detail, thanks to which the reader can better understand the principle of work of the mentioned aircraft instruments. The next part of the work specifies the transition to digital instrument panels and it lists the advantages and disadvantages of the modern cockpit, as well as the reasons why general aircraft designers switch to the new instrument panel concept, the so-called glass cockpit. The elements of the digital instrument panel are characterized in the next part of the thesis, which describes individual types of display units – CRT, LCD and LED. It also deals with the individual elements that are found in digital instrument panels and also describes in more detail the MEMS technology that is the basis for the function of the modern cockpit concept. The bachelor's thesis also deals with the historical development of the layout of the instrument panel and familiarizes the reader with the difference in visualization of information on individual instrument panels. This part of the work is supplemented with visual material, through which it is possible to become better acquainted with the display of data on the traditional and modern type of cockpit. The aim of the work is to create study material for students of the field focused on air transport and an interactive presentation for familiarization with the basic control of the Dynon SkyView digital instrument panel.

The thesis also contains the methodology and methodology of the work, which defines what research methods were used in the thesis.

Keywords

Aviation instruments, Display units, Displays, Visualization, Instrument panel, Analog instrument panel, Digital instrument panel

1. Úvod

Prví letci sa museli spoliehať na svoje zmysly, keďže neexistovali žiadne letové prístroje. Postupne boli vynájdené letecké prístroje, ktoré slúžili pre pomoc pilotovi. Hoci boli podľa dnešných štandardov veľmi primitívne, mnohé prvé prístroje sa ukázali ako adekvátne pre „malé a pomalé“ lietadlá.

Letecké prístroje sú klasifikované buď z hľadiska ich použitia, alebo z hľadiska princípu, ktorý je základom ich činnosti alebo konštrukcie. V bakalárskej práci sme klasifikovali prístroje podľa princípu činnosti na tri hlavné skupiny – mechanické (vrátane gyroskopických) prístroje, tlakové prístroje a elektrické prístroje. Práca disponuje stručným popisom leteckých prístrojov a je doplnená obrazovým materiálom. [51]

V prvej kapitole práce je podrobne rozobratá konštrukcia a princíp činnosti snímačov tlaku a leteckých prístrojov analógového prístrojového panelu. Zameriava sa na jednotlivé prístroje analógového prístrojového panelu z hľadiska ich konštrukcie a princípu činnosti. V kapitole sú bližšie špecifikované aerometrické a gyroskopické prístroje a magnetický kompas, ktoré sú doplnené o obrazový materiál.

Druhá kapitola opisuje prechod na digitálne prístrojové panely, a zároveň sú v nej uvedené výhody aj nevýhody moderného kokpitu. Výhodami sú situačné povedomie, spoľahlivosť, presné indikácie a zníženie pracovného zaťaženia pilota. Medzi nevýhody patrí vysoká cena a obavy o bezpečnosť. Digitálny prístrojový panel sa neodporúča pre počiatočný letecký výcvik, nakoľko moderný kokpit zvyčajne rozptyľuje študenta a navádza ho pozrieť sa do pilotnej kabíny, čo môže mať za následok, že sa študenti nikdy nenaučia ovládať lietadlo s analógovým prístrojovým panelom alebo elektrickou poruchou.

Digitálny prístrojový panel a jeho prvky z hľadiska konštrukcie a princípu činnosti jednotlivých prvkov definujeme v tretej kapitole. Základom digitálneho prístrojového panelu je EFIS (elektronický systém leteckých prístrojov). V podkapitolách sú popísané rôzne typy displejov (CRT, LCD, LED) a základné prístrojové komponenty (ADC, RLG, MEMS technológia, systémy diaľkového kompasu, magnetometer, AHRS).

Štvrtá kapitola práce poskytuje prehľad vizualizácie informácií na prístrojovom paneli – umiestnenie primárnych letových prístrojov v starších aj v súčasnej dobe používaných letúnoch, ich usporiadanie na prístrojovom paneli v rôznych druhoch letúnoch. Výhody a nevýhody jednotlivých prístrojov so zameraním na ich využitie ako v starších, tak aj v nových druhoch či verziách letúnoch. Jednotlivé časti sú doplnené o obrazový materiál.

Vďaka teoretickým poznatkom sme v rámci praktickej časti vytvorili interaktívnu prezentáciu, ktorá bude slúžiť dopravným pilotom vo výcviku na zoznámenie sa s ovládaním moderného digitálneho prístrojového panelu v letúnoch Tomark Viper SD-4. Obsah prezentácie je bližšie popísaný v piatej kapitole.

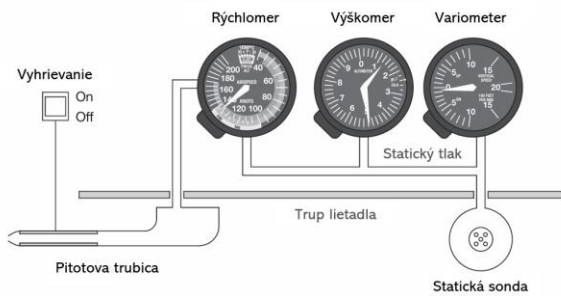
Medzi naše ciele práce patrí vytvorenie študijného materiálu pre študentov leteckej dopravy, budúcich pilotov, pilotov aj pre nadšencov pre lietanie, porovnanie konštrukcie a princípu činnosti analógových a digitálnych prístrojových panelov, vytvorenie vizualizačnej príručky informácií na prístrojovom paneli, porovnanie vizualizácie informácií na analógovom a digitálnom prístrojovom paneli a vytvorenie interaktívnej prezentácie pre základy ovládania moderného prístrojového panelu Dynon SkyView.

2. Konštrukcia a princíp činnosti snímačov tlaku a leteckých prístrojov analógového prístrojového panelu

V danej časti sa práca zameriava na jednotlivé prístroje analógového prístrojového panelu z hľadiska ich konštrukcie a princípu činnosti. Medzi prístroje analógového panelu patria aerometrické a gyroskopické prístroje a magnetický kompas. V jednotlivých podkapitolách je poskytnutý podrobný popis uvádzaných prístrojov, ktorý je doplnený o obrazový materiál.

2.1. Aerometrické prístroje

Táto podkapitola sa venuje aerometrickým prístrojom, ktoré slúžia na určenie hmotnosti alebo hustoty plynu, najmä vzduchu. [22]



Obrázok 1: Schéma aerometrických prístrojov [21]

2.1.1. Systém statického a celkového tlaku

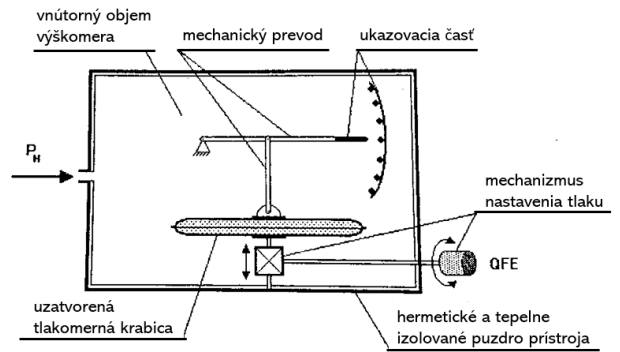
Pitot-statický systém lietadla je systém, v ktorom sa sníma a meria celkový tlak vytvorený dopredným pohybom lietadla a statický tlak atmosféry, ktorá ho obklopuje, a to z hľadiska rýchlosti, výšky a rýchlosti zmeny výšky (vertikálna rýchlosť). [20]



Obrázok 2: Pitot-statická trubica na letúne Cessna C172F Skyhawk [5]

2.1.2. Barometrický výškomer

Barometrické výškomery sú prístroje, ktoré slúžia na meranie výšky lietadla na základe snímania statického tlaku vzduchu. Základnými jednotkami sú stopy alebo metre. Výškomery kalibrované v stopách sú niekoľkonásobne presnejšie pri odčítaní ako ciachované v metroch. [1]

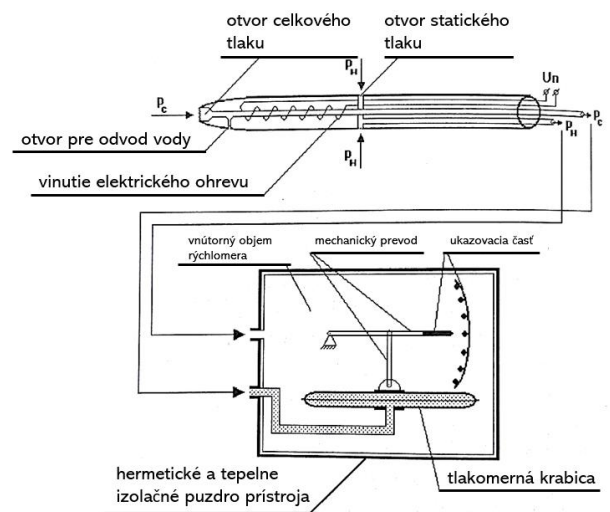


Obrázok 3: Konštrukcia barometrického výškomera [1]

2.1.3. Rýchlometer

Rýchlometer je letecký prístroj slúžiaci na meranie rýchlosti letu. Rýchlometer môžeme nazvať aj ako diferenčný tlakomer, ktorý indikuje dynamický tlak vzduchu, ktorým lietadlo letí.

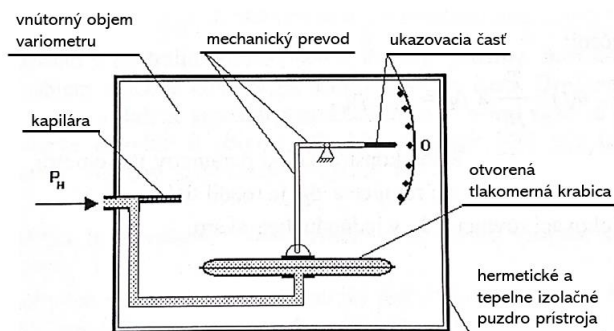
Jednoduchý rýchlometer je otvorená tlakomerná krabica, do ktorej je privádzaný celkový tlak zo snímača celkového tlaku. Zo snímača statického tlaku je statický tlak privádzaný do puzdra prístroja. Tlakomerná krabica reaguje na rozdiel týchto tlakov zdvihom, ktorý je prenášaný mechanizmom na ručičku, ktorá indikuje dynamický tlak. [1]



Obrázok 4: Konštrukcia jednoduchého rýchlomera [1]

2.1.4. Variometer

Klasický variometer má analógové zobrazenie, ktorého ručička indikuje rýchlosť stúpania alebo klesania podľa zmeny statického tlaku v priebehu času. Variometre bývajú kalibrované v m/s alebo ft/min. [2]



Obrázok 5: Konštrukcia variometra [1]

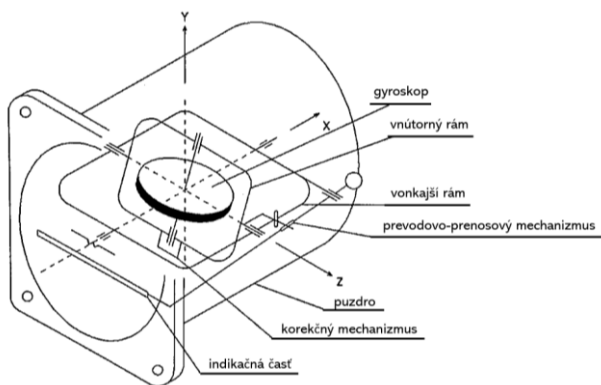
2.2. Gyroskopické prístroje

Gyroskopické prístroje poskytujú pilotovi ďalšie zobrazenia a informácie potrebné pre základnú prevádzku lietadla vrátane polohy a smeru. Táto podkapitola popisuje rôzne prístroje používané na dosiahnutie týchto zobrazení spolu s ďalšími údajmi, ktoré je možné odvodiť. Typ a množstvo gyroskopických prístrojov a systémov inštalovaných v lietadle závisí od množstva faktorov, od veľkosti lietadla, typu prevádzky, regulačných požiadaviek a tak ďalej. [21]

2.2.1. Ukazovateľ letovej polohy

Ukazovateľ letovej polohy je zotrvačnickový letecký prístroj, ktorý meria pozdĺžny a priečny sklon lietadla a tieto informácie zobrazuje pilotovi na indikačnej časti. [3]

Osa rotácie zotrvačníka je v smere miestnej vertikály a udržuje svoju polohu v priestore. Rovina otáčania zotrvačníka zobrazuje horizontálnu polohu lietadla, od ktorej sa meria pozdĺžny a priečny sklon letúna. [6]



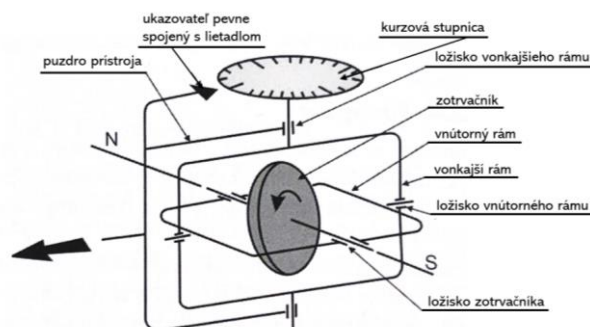
Obrázok 6: Konštrukcia ukazovateľa letovej polohy [6]

2.2.2. Smerový zotrvačník

Smerový zotrvačník je gyroskopický prístroj s tromi stupňami voľnosti a 2 rámmi určujúcimi kurz alebo smerník lietadla. [2]

Rámy tvoria tzv. Kardanov záves umožňujúci ustanoviť os rotácie zotrvačníka do ľubovoľného smeru. V ustálenom režime je os rotácie zotrvačníka vo vodorovnej rovine a v zvolenom smere. Os vonkajšieho rámu je rovnobežná so zvislou osou lietadla a os vnútorného rámu je vo vodorovnej rovine. Obidva rámy sú na

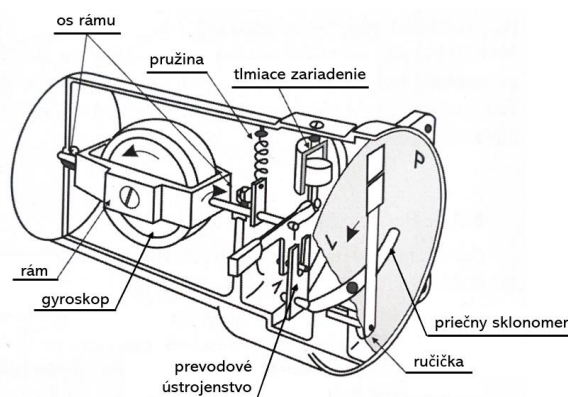
seba vzájomne kolmé. Zotrvačník je roztáčaný podtlakovým systémom alebo elektricky. [3] [6]



Obrázok 7: Konštrukcia smerového zotrvačníka [6]

2.2.3. Zatáčkomer

Zatáčkomer je zotrvačnickový prístroj s 2 stupňami voľnosti a jedným rámom. Slúži pilotom lietadiel k udržaniu priamočiareho letu a k vykonaniu „správnej zatáčky“. Prístroj meria uhol rýchlosti otáčania lietadla v zatáčke. Často býva kombinovaný spolu s priečnym relatívnym sklonomerom. Výstupné údaje sa používajú pri letoch na bezmotorových letúnoch až po lietanie podľa prístrojov. [1] [2] [6]

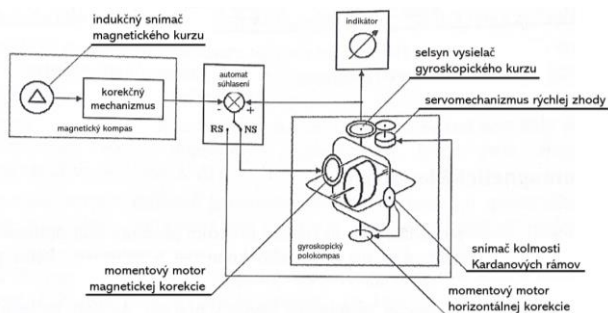


Obrázok 8: Konštrukcia kombinovaného zatáčkomera so sklonomerom [6]

2.2.4. Gyromagnetické kompas

Gyroskopický magnetický kompas je systém, v ktorom prvok na detekciu magnetického smeru monitoruje prvok indikujúci gyroskop, aby na diaľku zobrazoval indikáciu kurzu. Táto kombinácia lepších vlastností magnetického kompasu a gyroskopu bola logickým krokom vo vývoji smerových zobrazovacích systémov pre použitie v lietadlách. [7]

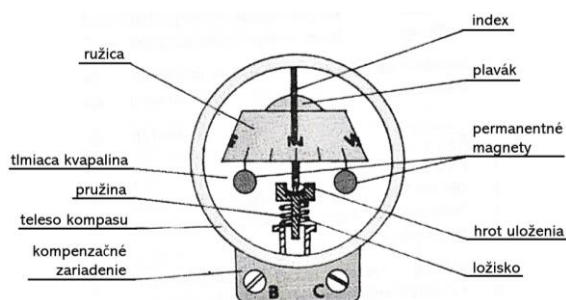
Zvyčajným umiestnením sú konce krídel lietadla, aby bol prístroj ďaleko od kovovej konštrukcie. Krátkodobá presnosť gyroskopu v kombinácii s dlhodobou presnosťou magnetického kompasu poskytuje stabilnú a presnú referenciu kurzu. [8]



Obrázok 9: Schéma gyromagnetického kompasu [1]

2.3. Magnetický kompas

Magnetický kompas je najjednoduchší prístroj, pomocou ktorého môžeme merať magnetický kurz. Základom je ružica, na ktorej je zobrazený smer, ktorým letíme. V jej strede sa nachádza hrot uloženia slúžiaci ako ložisko pre snímač obsahujúci dvojicu permanentných magnetov so zhodne orientovanými magnetmi. Hrot uloženia sa vyrába z tvrdého kovu, aby bolo dosiahnuté minimálne trenie. Magnety sú uchytené o plavák a súčasťou tohto usporiadania je aj magnetická ružica. Hrot sa opiera o ložisko, ktoré je pripevnené pomocou pružiny o teleso. Puzdro kompasu je vyplnené tlmiacou kvapalinou slúžiacou na odľahčenie otočného systému. [1] [2]



Obrázok 10: Konštrukcia magnetického kompasu [2]

3. Prechod na digitálne prístrojové panely

Digitálny prístrojový panel, podľa definície, je umiestnený v lietadle, ktoré obsahuje elektronické prístrojové displeje. Tradičný kokpit sa pri zobrazovaní informácií spolieha na početné analógové (mechanické) prístroje a zobrazovacia jednotka na digitálnom prístrojovom paneli využíva niekoľko počítačových displejov, ktoré je možné nastaviť tak, aby zobrazovali informácie o lete podľa potreby.

Cirrus Design Corporation bola prvá firma, ktorá v roku 2003 certifikovala celý elektronický systém leteckých prístrojov (EFIS) na letúne SR-22 [obr. 11], a potom Cessna, Piper, Mooney a Hawker Beech čoskoro uplatnili vlastné návrhy preskleného kokpitu. [4]



Obrázok 11: Prvý letún s digitálnym prístrojovým panelom Cirrus SR-22 [14]

3.1. Výhody digitálneho prístrojového panelu

Medzi výhody digitálneho prístrojového panelu patrí:

- situačné povedomie,
- spoľahlivosť,
- presné indikácie,
- zníženie pracovného zaťaženia. [13]

3.2. Nevýhody digitálneho prístrojového panelu

Medzi nevýhody digitálneho prístrojového panelu patrí:

- vysoká cena,
- neodporúča sa pre počiatočný letecký výcvik,
- obavy o bezpečnosť. [13]

4. Konštrukcia a princíp činnosti prvkov digitálneho prístrojového panelu

Digitálny prístrojový panel a jeho prvky z hľadiska konštrukcie a princípu činnosti jednotlivých prvkov sú definované v nasledujúcej časti. Základom digitálneho prístrojového panelu je EFIS (elektronický systém leteckých prístrojov). V podkapitolách sú popísané rôzne typy displejov (CRT, LCD, LED) a základné prístrojové komponenty (ADC, RLG, MEMS technológia, systémy diaľkového kompasu, magnetometer, AHRS). Celá kapitola poskytuje podrobný popis uvádzaných prístrojov, ktorý je doplnený o obrazový materiál.

3.1. Elektronický systém leteckých prístrojov (EFIS)

Elektronický systém leteckých prístrojov (EFIS) je zobrazovací systém palubných prístrojov používajúci zobrazovaciu technológiu skôr elektronickú ako elektromechanickú. Prvé systémy EFIS zobrazovali informácie pomocou technológie katódových trubíc (CRT). Neskôršie prístrojové displeje sú zobrazované na viacfarebných displejoch s tekutými kryštálmi (LCD), ktoré nahrádzajú niektoré alebo všetky konvenčné letové prístroje pre oboch pilotov. Na jednej obrazovke je možné zobraziť viac informácií ako u klasických analógových prístrojov, na ktorých sú informácie dôležité pre let rozdelené na viacerých prístrojoch na prístrojovom paneli. [1] [17]

Klasický EFIS sa skladá z primárneho letového displeju (PFD) a navigačného systému (ND), ktoré si uvedieme nižšie. [17]



Obrázok 12: Diamond DA42 s EFIS [9]

4.1.1. Primárny letový displej (PFD)

Primárny letový displej (PFD) je prístroj, ktorý integruje a zobrazuje na jednom displeji všetky informácie, ktoré boli historicky zobrazované na množstve jednotlivých elektromechanických prístrojov. PFD sa vyvinul zo základnej kombinácie ukazovateľa letovej polohy/letového smerovača, prezentovanej elektronicky na CRT.

Podľa výrobcu sa pridávali ďalšie informácie, ako je kurz, nadmorská výška a rýchlosť letu. Moderné PFD zobrazujú prakticky všetky informácie, ktoré pilot potrebuje na určenie základných parametrov letu (nadmorská výška, poloha v priestore /klonenie a klopenie/, rýchlosť letu, vertikálna rýchlosť, kurz atď.), ďalej aj stav zapojenia autopilota a automatického ťahu, režimy autopilota a stav priblíženia. [17]



Obrázok 13: Primárny letový displej (PFD) Garmin G1000 [18]

4.1.2. Navigačný displej (ND)

Elektronický indikátor horizontálnej situácie (EHSI), často označovaný ako navigačný displej (ND), nahrádza množstvo rôznych prístrojov na bežnom prístrojovom paneli lietadla a možno ho použiť na zobrazenie smeru letu, zvoleného smeru alebo trate, zameranie na navigačný maják alebo z neho, laterálna odchýlka od zvolenej trate, rýchlosť voči zemi, vzdialenosť a čas do cieľa, letecká mapa, informácie o počasí, a ďalšie informácie podľa dizajnu. [17]



Obrázok 14: Navigačný displej (ND) Garmin G1000 [19]

4.2. Konštrukcia a princíp činnosti jednotlivých typov displejov

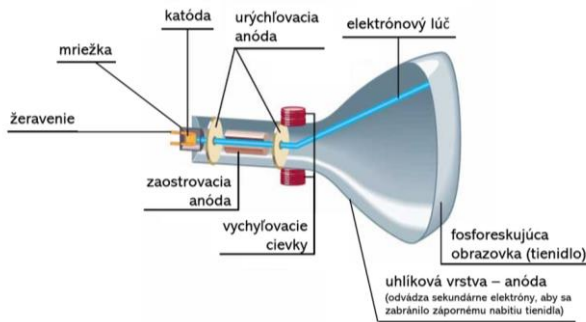
V nasledujúcej časti sú prezentované jednotlivé typy displejov, ich konštrukčné parametre z hľadiska termoemisíí, využitia tekutých kryštálov, polarizácie, využitia pixelov pre lepšie zobrazovanie a princíp činnosti jednotlivých typov displejov, ich výhody aj nevýhody pri zobrazovaní podstatných údajov. Podkapitoly sú doplnené obrazovým materiálom.

4.2.1. Cathode Ray Tube displej

Katódová trubica (CRT) je termoemisné zariadenie, v ktorom sa v dôsledku tepelnej energie uvoľňujú elektróny. Skladá sa z vákuovej sklenenej banky, v ktorej sa nachádza elektrónové delo a systémy zaostrovania a vychýľovania lúča. Vnútrošný povrch tieniacej časti pokrýva fosfor – pevná kryštalická látka. Elektrónové delo pozostáva z nepriamo žeravenej katódy, ktorá je záporne nabitá voči tienidlu, valcovej mriežky, obklopujúcej katódu a z dvoch alebo troch anód. Keď je katóda rozžeravená, elektróny sú emitované a prechádzajú pomedzi usmerňovacie anódy formulujúce lúč.

Záporný potenciál, ktorý sa udržiava na mriežke má za účel riadiť prúd, a tak modulovať lúč elektrónov, ktoré prechádzajú cez otvor v mriežke. Anódy sú kladné voči katóde a elektróny urýchľujú na vysokú rýchlosť, až pokiaľ nenarazia na povrch tienidla. Anódy ďalej zaisťujú proces zaostrovania (zaostrovacia anóda), ktorý pozostáva z dvoch fáz.

Sily, ktoré sú vyvolané poľom medzi mriežkou a prvou anódou zaostávajú elektróny do bodu pred anódou a následne sa rozbiehajú. Ďalej pokračujú do druhého zaostrovacieho bodu poľa v oblasti medzi tromi anódami. Riadenie zaostrovania je zaistené zmenou potenciálu na tretej anóde zaostrovajúcej lúč do bodu na povrchu tienidla. Keď elektróny narazia na povrch tienidla, fosforový materiál zasvietkuje v bode dopadu lúča. Tento proces spôsobí malú emisiu svetla na strane tienidla. [16]

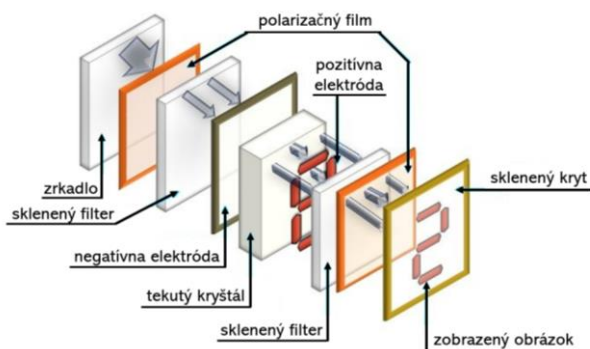


Obrázok 15: Zloženie CRT obrazovky [4] [16]

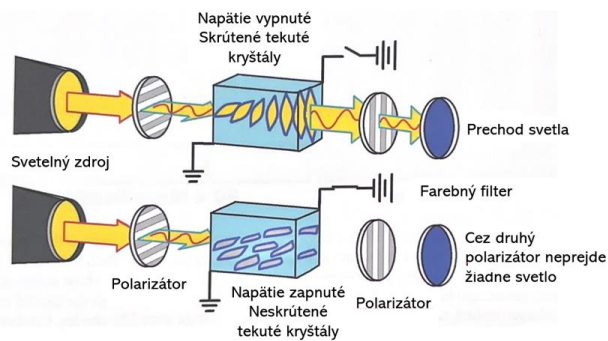
4.2.2. Displej z tekutých kryštálov (LCD)

Displej z tekutých kryštálov je elektrooptický amplitúdový modulátor realizovaný ako tenké, ploché zobrazovacie zariadenie tvorené ľubovoľným počtom farebných alebo monochromatických pixelov usporiadaných pred svetelným zdrojom alebo reflektorom. Často sa používa v elektronických zariadeniach napájaných z batérie, pretože využíva minimálne množstvo elektronickej energie. Tento druh displejov vyžaduje veľmi malé napätie na aktiváciu každého pixelu na zobrazenie displeja, čo je ich hlavnou výhodou.

Tieto druhy displejov sa konštruujú dvomi rôznymi spôsobmi, čo ich delí na displeje odrazené (reflexné) alebo podsvietené. Rozdiel medzi týmito dvoma displejmi je zdroj svetla pre pixel. [4]



Obrázok 16: Konštrukcia reflexnej LCD obrazovky [4]



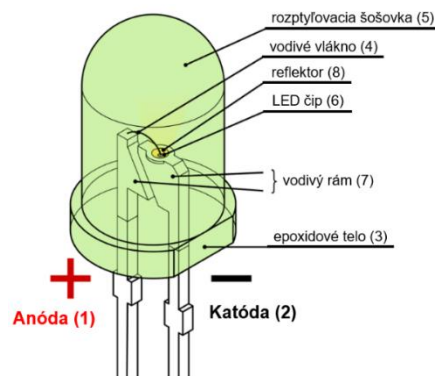
Obrázok 17: Konštrukcia podsvietenej LCD obrazovky [4]

4.2.3. LED displej

Hlavný rozdiel LED displejov oproti zobrazovacím jednotkám z tekutých kryštálov je v tom, že LED diódy produkujú svetlo, keď nimi preteká prúd. Môžu byť vyrobené tak, aby fungovali v mnohých rôznych farbách na displeji. Okrem toho je možné vyrobiť LED diódy na zmenu jasu podľa požiadaviek v tmavom kokpite.

LED dióda je elektronická polovodičová súčiastka, ktorá obsahuje P-N prechod, vďaka ktorému LED dióda vyžaruje svetlo a cez P-N prechod prechádza elektrický prúd.

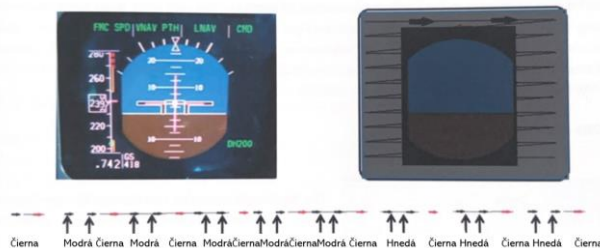
Kladný náboj je privádzaný vodičom cez anódu (1) LED diódy do vlákna (4). Druhá časť diódy je zapojená k vodivému rámu (7) vedúcemu z katódy (2) k zápornému pólu. O farbe vyžarovaného svetla rozhoduje chemické zloženie LED polovodiča (6). [obr. 18] [23]



Obrázok 18: Konštrukcia LED diódy [23]

4.2.4. Princíp činnosti vzniku obrazu na zobrazovacích jednotkách

Zobrazovacie jednotky lietadiel nie sú fotografie alebo živá akcia, ale grafický obraz, podobne ako prvá počítačom vytvorená kresba. Obraz pre displej nie je vytvorený z úrovni svetla a tieňa, ale z riadkov kódu. Počítač potom kód preloží a pošle do CRT, aby vytvoril hotový obraz. [4]



Obrázok 19: Proces vytvárania grafiky pre CRT displeje [4]

4.2.5. Prechod na LED a LCD displeje

Jednou z najväčších novinek v kokpite bol prechod z CRT na moderné zobrazovacie jednotky. Moderné displeje neprodukujú teplo, ktoré produkujú sklenené katódové trubice a najmä s LED diódami sa môže jas moderných leteckých displejov meniť podľa potreby. [4]

4.2.6. Obmedzenia výpočtovej techniky

Limitujúcimi faktormi, ktoré spomalili vývoj systémov digitálnych kokpitov, boli obmedzenia výpočtového výkonu a rýchlosti počítačov. Pôvodné systémy preskleného kokpitu využívali analógovo vytvorené informácie, ktoré sa vytvárajú rovnakým spôsobom ako klasické analógové indikátory kokpitu. V prvých systémoch preskleného kokpitu sa všetky analógové informácie posielali do centrálneho počítača nazývaného generátor symbolov. Pôvodné generátory symbolov pre systémy lietadiel mali veľmi obmedzenú výpočtovú rýchlosť. [4]

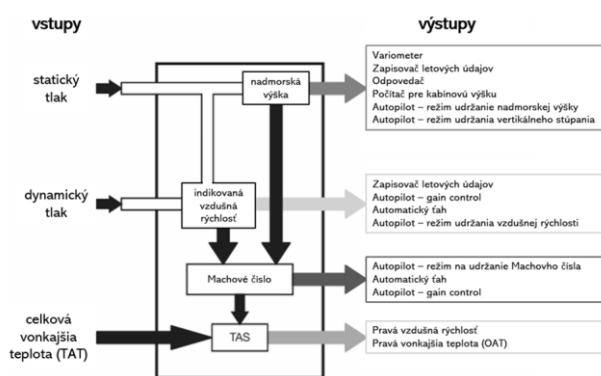
4.3. Základné prístrojové komponenty

V tejto časti práce sú bližšie uvedené základné prístrojové komponenty digitálneho prístrojového panelu, ktorými sú Air Data Computer (ADC), laserový gyroskop, systém diaľkového kompasu, magnetometer a AHRS. Odprezentujeme si aj MEMS technológiu, ktorá sa používa pri digitálnych prístrojových paneloch.

4.3.1. Air Data Computer (ADC)

Niektoré lietadlá majú inštalované zariadenie, ktoré zahŕňa jednu alebo viacero funkcií leteckých údajov, napr. Machovo číslo, pravá vzdušná rýchlosť (TAS), indikovaná vzdušná rýchlosť (IAS), atď. Na výpočet ktorejkoľvek z týchto funkcií sú potrebné vstupy na meranie celkového a statického tlaku spolu s teplotou vonkajšieho vzduchu.

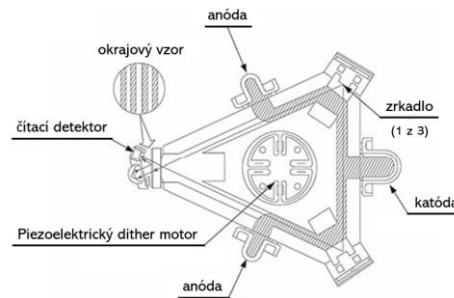
ADC môžu byť zabudované do panelových displejov, alebo v priestore prístrojového vybavenia. Existuje široká škála technológií používaných na návrh a konštrukciu ADC, vrátane elektromechanických a digitálnych systémov. [21]



Obrázok 20: Diagram ADC [21]

4.3.2. Laserový gyroskop

Ring Laser Gyros (RLG) využíva interferenciu laserového lúča v rámci optickej dráhy alebo prstenca na detekciu rotačného posunu, na meranie zmien sklonu, natočenia a smeru (azimutu). Laserové gyroskopy v skutočnosti nie sú gyroskopy v prísnom zmysle slova – sú to v skutočnosti snímače uhlovej rýchlosti otáčania okolo osi. Primárne použitie RLG je v inerciálnych navigačných systémoch (INS) a referenčných systémoch polohy a kurzu (AHRS). [21]



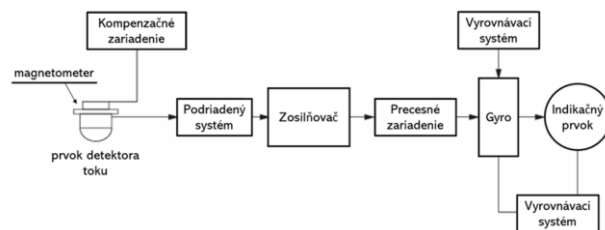
Obrázok 21: Schéma RLG [21]

4.3.3. MEMS technológia

MEMS senzory detegujú zmeny odporu alebo kapacity, keď sú vystavené sile na ich povrchu. Medzi dvoma kapacitnými doskami sa nachádza hmota, ktorá pri naklonení vytvára rozdiel v elektrickom potenciáli, čo vedie k zmene kapacity. Zmeny kapacity sa potom môžu previesť na elektrické signály, ktoré môžu byť rozpoznané a pochopené zariadeniami, ktoré sú k nim pripojené. [12]

4.3.4. Systém diaľkového kompasu

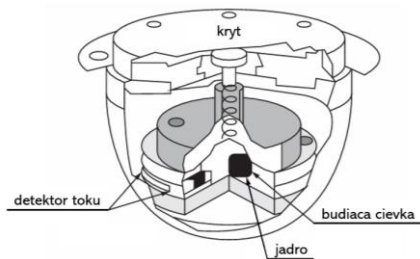
Klasické magnetické kompasu sú nespoľahlivé z krátkodobého hľadiska – počas otáčania. Smerové gyroskopy sú spoľahlivé na vedenie azimutu v krátkodobom horizonte, ale počas dlhších časových úsekov sa pohybujú. Kombinovaný magnetický kompas stabilizovaný smerovým gyroskopom (označovaný ako gyromagnetický kompas) dokáže tieto nedostatky prekonať.



Obrázok 22: Schéma systému diaľkového kompasu [21]

4.3.5. Magnetometer / prietokový ventil

Prietokový ventil sa skladá z dvoch hlavných komponentov – magnetického snímača a kompenzačného zariadenia. Snímač je závesné zariadenie, ktoré sa môže voľne pohybovať v závislosti od sklonu a nakláňania. Vnútorý priestor je čiastočne naplnený ľahkým olejom na tlmenie kmitov počas letu. Kompenzačné zariadenie umiestnené v hornej časti jednotky pozostáva z dvoch párov elektromagnetických cievok. Cievky sú napájané jednosmerným napätím zo zosilňovača systému kompasu a používa sa na kompenzáciu magnetických polí lietadla. [21]



Obrázok 23: Konštrukcia leteckého elektromechanického prietokového ventilu [21]

4.3.6. Referenčný systém polohy a kurzu (AHRS)

AHRS pozostáva z laserových alebo MEMS gyroskopov, akcelerometrov a magnetometrov na všetkých troch osiach. AHRS tiež zahŕňa integrované spracovanie, ktoré vypočítava riešenie polohy a smeru. Jednou zo základných princípov pokročilých navigačných systémov je použitie Kalmanových filtrov. Na základe princípov Kalmanových filtrov je navigačný systém založený na inerciálnych navigačných senzoch s periodickými aktualizáciami z rádionavigačných zariadení. Jedným z kľúčových prevádzkových aspektov inerciálnej navigácie je, že systémové chyby sa časom hromadia. Keď systém dostane opravu polohy z navigačných pomôcok, chyby inerciálneho navigačného systému sa opravujú. [21]



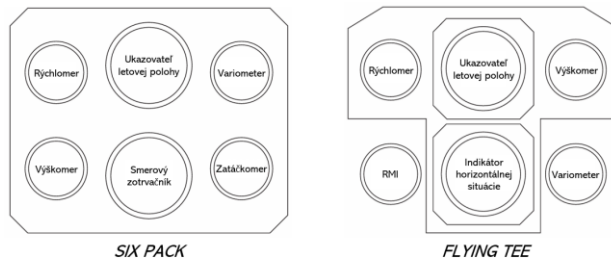
Obrázok 24: Referenčný systém údajov o vzduchu, polohe a smeru (ADAHRS) [28]

5. Vizualizácia informácií na prístrojovom paneli

Táto časť práce poskytuje prehľad vizualizácie informácií na prístrojovom paneli – umiestnenie primárnych letových prístrojov v starších, a aj v súčasnej dobe používaných letúnoch, ich usporiadanie na prístrojovom paneli v rôznych druhoch letúnov. Výhody a nevýhody jednotlivých prístrojov so zameraním na ich využitie ako v starších, tak aj v nových druhoch či verziách letúnov. Jednotlivé časti sú doplnené o obrazový materiál.

5.1. Usporiadanie prístrojového panelu

Aerometrické a gyroskopické prístroje sú označované ako primárne letecké prístroje. Sú usporiadané v prístrojovom paneli jedným z niekoľkých konvenčných spôsobov – „flying Tee“ alebo „six pack“ [obr. 25]. [21]



Obrázok 25: Základné rozloženia leteckých prístrojov na prístrojovom paneli [21]

5.1.1. Umiestnenie leteckých prístrojov na prístrojovom paneli podľa druhu letúna

Prístrojový panel v prípade jednopilotného lietadla je umiestnený priamo pred pilotom. Malé letúne všeobecného letectva sú tradične navrhnuté tak, že veliteľ sedí na ľavom sedadle. Vo väčších dopravných lietadlách s dvojpilotnou posádkou sú prístroje zdvojené. [21]



Obrázok 26: Rozloženie leteckých prístrojov podľa typu letúna [24] [25]

5.2. Aerometrické prístroje

Medzi aerometrické prístroje patrí výškomer, rýchlometer a variometer. V tejto podkapitole sú uvedené vizualizácie informácií na týchto leteckých prístrojoch – na digitálnych a analógových prístrojových paneloch.

5.2.1. Výškomer



Obrázok 27: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom výškomere [26] [27]

Výškomery na obr. 27 sú kalibrované v stopách, čo je najviac zaužívaná jednotka výšky v letectve. V starších lietadlách československej a sovietskej výroby sa môžeme stretnúť aj s výškomermi kalibrovanými v metroch, ale nie sú natoľko presné ako výškomery kalibrované v stopách. Jednotky, v ktorých sú kalibrované výškomery, musia byť dostatočne viditeľne uvedené na prístroji, aby nedošlo k chybe pri odčítaní pilotom. [1]

Na oboch typoch prístrojov môžeme vidieť dlhé a krátke deliace značky. Dlhé indikujú zmenu výšky o 100 stôp a krátke o 20 stôp. [3]

5.2.2. Rýchlomer



Obrázok 28: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom rýchlomere [26] [27]

V letectve sa môžeme stretnúť s rýchloermi kalibrovanými v uzloch, km/h a mph. Najčastejšie sú využívané rýchlomery kalibrované v uzloch. Jednotky, v ktorých sú kalibrované rýchlomery, musia byť dostatočne viditeľne uvedené na leteckom prístroji, aby nedošlo k chybe pri odčítaní pilotom. Všetky klasické rýchlomery ukazujú indikovanú vzdušnú rýchlosť (IAS). Na digitálnych prístrojových paneloch môžeme vidieť aj pravú vzdušnú rýchlosť (TAS) [obr. 28 – na PFD v pravom rohu pod zobrazovacím stĺpcom indikátora rýchlosti]. [1]

Dlhé a krátke deliace značky na rýchlomere pomáhajú lepšie určiť rýchlosť, pričom dlhé indikujú zmenu rýchlosti o 10 uzlov a krátke o 5 uzlov. [3]

Rýchlomery lietadiel všeobecného letectva používajú systém farebne odlišených značiek [obr. 29] umožňujúcich pilotovi okamžite určiť obmedzenia rýchlosti letu, ktoré sú dôležité pre bezpečnú prevádzku lietadla. Toto farebné odlišenie má rovnaký význam u analógových a aj u digitálnych rýchlomerov. [3]



Obrázok 29: Štandardné farebné odlišovacie značky na rýchlomere [3]

5.2.3. Variometer



Obrázok 30: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom variometre [26] [27]

Variometer, niekedy nazývaný indikátor vertikálnej rýchlosti (VSI), udáva či lietadlo stúpa, klesá, alebo je vo vodorovnom lete. Rýchlosť stúpania alebo klesania je uvedená v stopách za minútu (fpm). Činnosť variometra je závislá od prísunu statického tlaku, nakoľko je určený na meranie jeho rozdielu.

Na analógovom prístrojovom paneli má typický variometer dlhé a krátke deliace značky, pričom každá dlhá značka predstavuje 500 stôp za minútu (5 = 500 ft/min) a každá krátka značka

predstavuje 100 stôp za minútu (prvá značka = 100 ft/min, druhá značka = 200 ft/min).

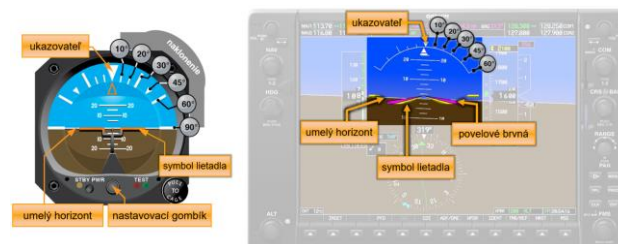
Na digitálnom prístrojovom paneli má variometer dlhé a krátke deliace značky. Každá dlhá značka má vedľa seba číslicu, ktorá indikuje 100 stôp za minútu (2 = 2 000 ft/min) a každá krátka značka predstavuje 500 stôp za minútu. [3]

5.3. Gyroskopické prístroje

Viacere letecké prístroje využívajú na svoju činnosť vlastnosti gyroskopu. Najbežnejšími prístrojmi obsahujúcimi gyroskopy sú ukazovateľ letovej polohy, smerový zotrvačník, zatáčkomer a gyromagnetický kompas. Činnosť týchto prístrojov bola popísaná v druhej kapitole a v tejto podkapitole sú uvedené vizualizácie informácií na gyroskopických prístrojoch. [3]

5.3.1. Ukazovateľ letovej polohy

Ukazovateľ letovej polohy disponuje symbolom malého lietadla a čiarou horizontu, ktorá zobrazuje polohu lietadla voči horizontu. Vzťah indikovaného lietadla k priečke horizontu je rovnaký ako vzťah skutočného lietadla k skutočnému horizontu. Prístroj poskytuje okamžitú indikáciu aj tých najmenších zmien. [3]



Obrázok 31: Indikácia informácií na analógovom a digitálnom ukazovateli letovej polohy [3] [27]

Ukazovateľ v hornej časti leteckého prístroja indikuje uhol náklonu vyznačený na stupnici náklonu s čiarami, ktoré predstavujú 10°, 20°, 30°, 45° a 60° [obr. 31].

Horizontálna čiara je súčasťou stupnice klopenia (sklonu). Nad a pod čiarou horizontu sa zobrazujú hlavné deliace značky a číselné označenia pre každých 10° až do 80°. Dlhé deliace značky sú zobrazené pre 5° prírastky až do 25° pod a 45° nad horizontom. Medzi 20° pod a 20° nad horizontom sa každé 2,5° značia menšími značkami klopenia (sklonu). [15]

5.3.2. Smerový zotrvačník

Ciferník smerového zotrvačníka je odstupňovaný písmenami reprezentujúcimi svetové strany (N, E, S, W), číslami každých 30° a deliacimi značkami. Dlhé deliace značky sa nachádzajú každých 10° a krátke každých 5°. Konečná „0“ je za číslicami smerov vynechaná. Napríklad 9 = 90°, 12 = 120°, 5 = 150° a 33 = 330°. Na analógovom a digitálnom prístrojovom paneli je indikácia tohto leteckého prístroja rovnaká, pričom pri klasickom zotrvačníku je potrebné vykonávať kontrolu a opravu smeru každých 15 minút, no pri digitálnom smerovom zotrvačníku túto kontrolu a opravu nie je potrebné vykonávať vďaka AHRS. [3] [6]



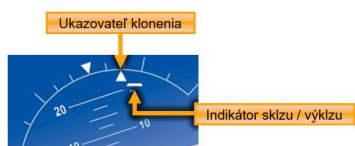
Obrázok 32: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom smerovom zotrvačníku [26] [27]

5.3.3. Zatačkometer



Obrázok 33: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom smerovom zotrvačníku [26] [27]

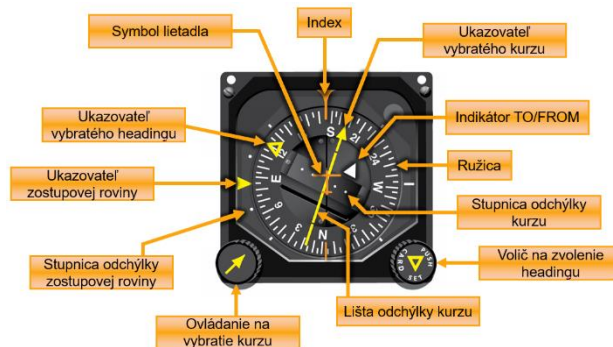
Ciferník na analógovom prístrojovom paneli je označený "2 MIN TURN". Niektoré zatačkometry používané v rýchlejších lietadlách sú označené "4 MIN TURN". V oboch leteckých prístrojoch sa štandardná rýchlosť otáčania vykoná vždy, keď sa profil krídla symbolu lietadla zarovná s bielou čiarou, taktiež prezývanou „doghouse“. Štandardná rýchlosť otáčania je 3° za sekundu. V 2-minútovom zatačkometri, ak sa profil krídla zarovná s „doghouse“, otočenie je 3° za sekundu a otočenie o 360° trvá 2 minúty. U 4-minútových zatačkometoch otočenie o 360° trvá 4 minúty. [3]



Obrázok 34: Indikácia informácií na zatačkometri na digitálnom prístrojovom paneli [15]

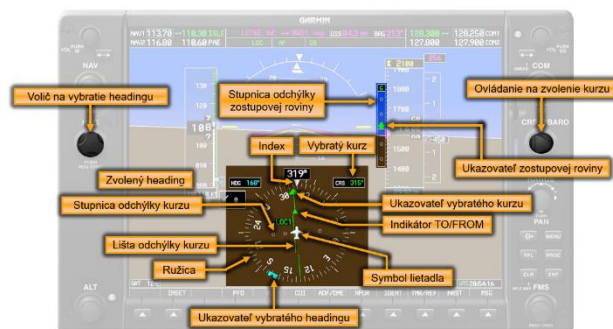
Indikátor sklzu/výklzu je pruh pod ukazovateľom klonenia. Jeden posun pruhu sa rovná jednému posunu guľičky na tradičnom sklonometri. Indikátor sa pohybuje spolu s ukazovateľom klonenia a pohybuje sa bočne preč od ukazovateľa, čím indikuje nekoordinovaný let. Sklz (vo vnútri zákruty) alebo výklz (von zo zákruty) je indikovaný umiestnením pruhu indikátora preč vzhľadom od ukazovateľa. [15]

5.3.4. Gyromagnetická kompas



Obrázok 35: Indikácia informácií na gyromagnetickom kompase na analógovom prístrojovom paneli [3]

Na obr. 35, kurz lietadla zobrazený na ružici pod horným indexom je 175°. Ukazovateľ (šípka) označujúci vybraný kurz je nastavený na 197°, zadná časť šípky ukazuje opačný uhol 017°. Ružica je označená písmenami reprezentujúcimi svetové strany: sever (N), východ (E), juh (S) a západ (W), a číslami pre každých 30° medzi týmito písmenami. Konečná „0“ je z týchto smerov vynechaná. Napríklad 3 = 30°, 6 = 60° a 33 = 330°. Medzi písmenami a číslami sú dlhé a krátke deliace značky, pričom každá dlhá značka predstavuje 10° a každá krátka značka 5°. Lišta odchýlky od kurzu funguje v spolupráci s navigačným prijímačom VOR/LOC a indikuje odchýlku vpravo alebo vľavo od kurzu zvoleného šípkou ukazujúcou kurz. Ukazovateľ odchýlky zostupovej roviny ukazuje vzťah lietadla k zostupovej rovine. Keď je ukazovateľ pod stredovou polohou, lietadlo je nad zostupovou rovinou, vyžaduje sa zvýšená rýchlosť klesania. Ak sa nachádza ukazovateľ nad stredovou polohou, lietadlo je pod zostupovou rovinou, a to si vyžaduje opačnú činnosť od pilota – stúpanie. Na obr. 35, lietadlo letí správnym kurzom a aj zostupovým uhlom. [3]



Obrázok 36: Indikácia informácií na gyromagnetickom kompase na digitálnom prístrojovom paneli [27]

Na obr. 36 je kurz lietadla zobrazený na ružici pod horným indexom je 319°. Ukazovateľ (šípka) označujúci vybraný kurz je nastavený na 315°, zadná časť šípky ukazuje opačný uhol 135°. Lišta odchýlky od kurzu funguje v spolupráci s navigačným prijímačom VOR/LOC a indikuje odchýlku vľavo od kurzu zvoleného šípkou ukazujúcou kurz. Lietadlo sa nachádza vľavo od vybraného kurzu. VOR/LOC prijímač prijíma signál od LOC. Nastavený heading je 168° a aktuálny, ktorým lietadlo letí je 319°.

Ukazovateľ odchýlky zostupovej roviny indikuje, že sa lietadlo nachádza pod zostupovou rovinou a od pilotov sa vyžaduje, aby na krátky moment znížili uhol klesania, dokým sa lietadlo nedostane na správnu zostupovú rovinu, a potom môže pilot pokračovať v predpísanom klesaní, ktoré sa očakáva od typu priblíženia a približovacej rýchlosti. [3]

5.3.5. Magnetický kompas



Obrázok 37: Vizualizácia informácií na analógovom a digitálnom magnetickom kompase [3] [27]

Magnetický kompas lietadla [obr. 37] má dva malé magnety pripevnené k plaváku utesnenému vo vnútri kapsule kompasu s čírou tekutinou podobnou petroleju. Odstupňovaná stupnica, nazývaná ružica, je pozorovaná cez sklenené okienko s indexom, ktorý indikuje smer. Ružica je označená písmenami reprezentujúcimi svetové strany: sever (N), východ (E), juh (S) a západ (W), a číslom pre každých 30° medzi týmito písmenami. Konečná „0“ je z týchto smerov vynechaná. Napríklad 3 = 30°, 6 = 60° a 33 = 330°. Medzi písmenami a číslami sú dlhé a krátke deliace značky, pričom každá dlhá značka predstavuje 10° a každá krátka značka 5°. [3]

6. APLIKOVANIE TEORETICKÝCH POZNATKOV DO PRAXE

Vďaka teoretickým poznatkom sme v rámci praktickej časti vytvorili interaktívnu prezentáciu, ktorá bude slúžiť dopravným pilotom vo výcviku na zoznámenie sa s ovládaním moderného digitálneho prístrojového panelu v letúnoch Tomark Viper SD-4, ktoré tvoria najväčšie zastúpenie letúnov vo flotile Leteckého výcvikového a vzdelávacieho centra, ktoré spadá pod Žilinskú univerzitu v Žiline.

6.1. Interaktívna prezentácia pre ovládanie moderného digitálneho prístrojového panelu Dynon SkyView

Po dôkladnom naštudovaní prezentácie bude študent schopný absolvovať všetky fázy počiatočného výcviku bez problémov. Bude schopný vedieť určiť, kde sa nachádzajú jednotlivé informácie na primárnom letovom displeji, ako napríklad smer odkiaľ fúka vietor a aj rýchlosť vetra, a kde sa nachádzajú informácie na navigačnom displeji, ako napríklad určenie svojej polohy voči priestoru. Prezentácia naučí pilotov pri základnom výcviku nastavenie kurzu, QNH atď. V neskoršej fáze výcviku, pri navigačných letoch, budú schopní vedieť nastaviť kód na odpovedači. Pri strate orientácie si študenti môžu pomôcť navigačným displejom, ktorý im pomôže s určením ich polohy. Pri dlhých navigačných letoch budú vedieť nastaviť si trať letu, ktorú budú mať vykreslenú na navigačnom displeji a naučia sa ešte mnoho ďalšieho.



Obrázok 38: Interaktívna prezentácia pre ovládanie moderného digitálneho prístrojového panelu Dynon SkyView [Zdroj: autor]

7. Metodika a metódy skúmania

Téma bakalárskej práce bola vybratá z dôvodu vytvorenia študijného materiálu pre študentov a ľudí zaujímavých sa o vývoj prístrojového vybavenia lietadiel všeobecného letectva v slovenskom jazyku. Na začiatku písania práce sme si stanovili metódy práce, ktoré boli použité v teoretickej a aj praktickej časti. Pre písanie bakalárskej práce sme použili rôzne metódy skúmania, a to literárnu rešerš, komparáciu a syntézu. Tieto typy metódy práce nám poslúžili k podstate skúmaného javu na získanie určitých poznatkov na dosiahnutie nami požadovaného cieľa. [10] [11]

8. Záver

Letectvo ako priemysel smeruje k moderným (digitálnym) kokpitom a dnes by sme ťažko hľadali nové lietadlo prichádzajúce z továrne s analógovým kokpitom. Dokonca aj staršie lietadlá, pôvodne dodávané s analógovými prístrojovými panelmi, sú dodatočne prerobené na digitálne prístrojové panely. Oba typy kokpitov sú dnes stále vo veľkej miere používané v lietadlách a sú bezpečné pre prevádzku. Piloti musia byť zoznámení s obidvoma typmi, aby bez problémov vedeli vykonať let na letúnoch rôzneho vybavenia. Táto bakalárska práca im môže poslúžiť ako študijný materiál, aby sa oboznámili s tradičným a aj moderným kokpitom. Po podrobnom naštudovaní bude čitateľ schopný určiť, kde a aké informácie na zobrazovacích jednotkách nájde a taktiež bude vedieť popísať rozdiel medzi princípmi činnosti a konštrukciou jednotlivých prvkov prístrojových panelov.

V prvej kapitole sme si podrobne rozobrali konštrukciu a princíp činnosti snímačov tlaku a leteckých prístrojov analógového prístrojového panelu. Podrobný text bol doplnený o obrazový materiál, z ktorého sa čitateľ lepšie oboznámil s konštrukciou všetkých prvkov používaných v tradičných pilotných kabínach.

Súčasný moderný kokpit disponujú digitálnym prístrojovým panelom, no pred oboznámením sa s ním, sa musíme zoznámiť s príchodom moderného konceptu a následne s jeho výhodami a aj nevýhodami.

Tretia časť bakalárskej práce sa venuje konštrukcii a princípu činnosti hlavných prvkov používaných pre digitálne prístrojové panely. Pre správne fungovanie elementov medzi sebou je potrebné využitie MEMS technológie, ktorá je v danej kapitole

blížšie popísaná, ako aj jej samostatné zloženie a princíp činnosti.

Štvrtá kapitola slúži ako vizualizačná príručka pre porovnanie distribúcie informácií na jednotlivých typoch prístrojových panelov. V danej časti je obrazový materiál, ktorý podrobne popisuje rozloženie dát na zobrazovacích jednotkách tradičných a moderných kokpitov.

Po dôkladnom spracovaní predošlých kapitol sme následne v rámci praktickej časti vytvorili interaktívnu prezentáciu, ktorá poslúži študentom aj pilotom, aby sa oboznámili so základným ovládaním digitálneho prístrojového panela Dynon SkyView, ktorými disponuje aj letún Tomark Viper SD-4, ktorý tvorí najväčšie zastúpenie vo flotile LVVC v Žiline. Vďaka prezentácii budú začínajúci piloti schopní absolvovať lety na danom type lietadla bez problémov.

Cieľmi našej práce bolo vytvorenie študijného materiálu pre študentov leteckých odborov, budúcich pilotov, rekreačných a dopravných pilotov, a aj pre nadšencov lietania, následné porovnanie konštrukcie a princípu činnosti analógového a digitálneho prístrojového panelu, vytvorenie vizualizačnej príručky distribúcie informácií na oboch typoch prístrojových panelov a vytvorenie interaktívnej prezentácie pre základy ovládania moderného prístrojového panelu Dynon SkyView. Po napísaní celej práce môžeme zhodnotiť, že sme všetky stanovené ciele splnili.

V rámci inžinierskeho štúdia by sme chceli pokračovať v riešení danej problematiky a venovať sa jej podrobnejšie.

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] ČIŽMÁR, J. a TRUBAČ, M.: Prístrojové vybavení (022 00). Brno : Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. s. 230. ISBN 80-7204-445-1.
- [2] KANDERA, B.: Letecké prístroje. Bratislava : Dolis s.r.o., 2015. s. 205. ISBN 978-80-8181-017-6.
- [3] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Instrument flying handbook (FAA-H-8083-15B). New York : Skyhorse Publishing, Inc., 2017. s. 368. ISBN 978-1-5107-2546-1.
- [4] BESSETTE, B.: Glass Cockpit Principles. An Introduction into Aircraft Glass Cockpit Technology. 2021 Edition. Brétigny-sur-Orge : Amazon, 2021. s. 219. ISBN 9798497684919.
- [5] WOOD, Andrew (2022). AeroToolbox. Online. Dostupné na: <https://aerotoolbox.com/pitot-static-system/> [cit. 2024-01-02]
- [6] Autorský kolektív: Učebnice pilota 2016. Příbram : Svět křidel, 2016. s. 408. ISBN 978-80-87567-89-0.
- [7] AVIATIONEXAM, s.r.o.: Aviationexam Test Prep Edition 2014. Instrumentation 022. Praha : International Wings s.r.o., 2013. s. 246. ISBN 978-80-87014-57-8.
- [8] SKYbrary (bez dáta). SKYbrary. Online. Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/gyromagnetic-compass> [cit. 2024-01-03]
- [9] Take Flight Aviation (2023). TakeFlightToc. Online. Dostupné na: <https://www.takeflighttoc.com/2022-diamond-da42-version-vi-for-sale/> [cit. 2024-01-23]
- [10] ZEMAN, K.: Metodika pro psaní bakalářských a diplomových prací na Národohospodářské fakultě Vysoké školy ekonomické v Praze. Praha : Vysoká škola ekonomická v Praze, 2013. s. 30.
- [11] UHEREKOVÁ, M.: Manuál k spracovaniu záverečnej práce. Dubnica nad Váhom : Vysoká škola DTI, 2017. s. 34.
- [12] ES systems (2023). ES systems. Online. Dostupné na: <https://esenssys.com/comprehensive-guide-to-mems-sensors/> [cit. 2024-04-06]
- [13] Pilot Institute (2021). Pilot Institute. Online. Dostupné na: <https://pilotinstitute.com/glass-vs-traditional-cockpit/> [cit. 2024-04-05]
- [14] TEGLER, Jan (2003). Robb Report. Online. Dostupné na: <https://robbreport.com/motors/aviation/the-best-of-the-best-2003-personal-aircraft-cirrus-sr22-239831/> [cit. 2024-04-05]
- [15] GARMIN Ltd.: GARMIN G1000 Integrated Flight Deck Pilot's Guide – Cessna Nav III.. Southampton : Garmin Ltd., 2013. s. 662. ISBN 190-00498-08.
- [16] DENDIS, T. a KANDERA, B.: Letecké prístroje II. Žilina : EDIS, 2001. s. 150. ISBN 80-7100-824-9.
- [17] SKYbrary (bez dáta). SKYbrary. Online. Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/electronic-flight-instrument-system-efis> [cit. 2024-01-30]
- [18] Pinterest (bez dáta). Pinterest. Online. Dostupné na: <https://www.pinterest.ca/pin/garmin-g1000-glass-cockpit-primary-flight-display-pfd—20125529568287472/> [cit. 2024-01-30]
- [19] Spune (2021). Spune. Online. Dostupné na: <https://maxiload.amebaownd.com/posts/19634494/> [cit. 2024-01-30]
- [20] PALLETT, E. H. J.: Aircraft Instruments: Principles and Applications. 3rd edition. Londýn : Pearson Education Ltd., 2009. s. 432. ISBN 978-81-317-2813-0.
- [21] WYATT, D.: Aircraft Flight Instruments and Guidance Systems: Principles, Operations and Maintenance. Londýn : Routledge, 2015. s. 273. ISBN 978-0-415-70683-4.
- [22] Collins (bez dáta). Collins Dictionary. Online. Dostupné na: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/aerometer> [cit. 2024-02-02]

- [23] 123LED (bez dáta). 123LED. Online. Dostupné na: <https://www.123led.sk/led-diody-technicke-udaje/> [cit. 2024-04-07]
- [24] ErezS (2004). Jetphotos. Online. Dostupné na: <https://www.jetphotos.com/photo/247462> [cit. 2024-02-02]
- [25] MANTOUDIS, Michael (1984). Airlines. Online. Dostupné na: <https://www.airliners.net/photo/Hapag-Lloyd/Boeing-737-2/805913> [cit. 2024-02-02]
- [26] Pilot Institute (2023). Pilot Institute. Online. Dostupné na: <https://pilotinstitute.com/flight-instruments-explained/> [cit. 2024-02-03]
- [27] Steam (2020). Steam community. Online. Dostupné na: <https://steamcommunity.com/sharedfiles/filedetails/?l=german&id=2257121918> [cit. 2024-02-03]
- [28] MONTGOMERY, Jeff, Dr.: Aerospace: The Journey of Flight. 3rd edition. Alabama : Civil Air Patrol National Headquarters Maxwell Air Force Base, 2013. s. 682. ISBN 9780050015148.



TECHNICKO-PREVÁDZKOVÉ CHARAKTERISTIKY PRE RÔZNE APLIKÁCIE UAV

Maksym Valetsyky
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Patrik Veľký
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The goal of this bachelor's thesis is to create a system for analyzing technical and operational characteristics for various UAV applications. The work consists of 4 parts: the first part describes the current methods of qualification and separation of drones according to the above mentioned parameters, the second part analyzes in detail five different ways of using drones, the third part of the part selects the most important technical and operational ones based on the data from the previous part parameters and a table is created. In the last practical part, with the help of logical analysis, cause-and-effect relationships, methods of assumptions and results of the research, the relationships or so-called correlations entered in the table are investigated between the values listed in the table. This model helps to optimize the operation of the drone, save money on the purchase, maintenance and increase the safety of its operation.

Keywords

UAVs, technical and operational characteristics, table, correlation. optimization.

1. Úvod

Bezpilotné lietadlá (ďalej len UAV) už dnes postupne zaberajú významnú časť ľudského života a stavajú sa veľmi pohodlnými nástrojmi v najrôznejších odvetviach. UAV, ktoré sa dodávajú v rôznych veľkostiach a tvaroch, vybavené rôznymi senzormi a funkciami, sú dôležitými technológiami pre vojenské, komerčné a humanitárne využitie. Hoci vojenská aplikácia nie je dobrým príkladom, ich inovatívna pomoc pri práci v poľnohospodárstve, kontrole a údržbe infraštruktúry a tucet úspešných operácií SAR zdôrazňujú dôležitosť ich použitia. Strategický význam UAV vyplýva z ich schopnosti poskytovať rozšírené možnosti a znížené riziká najmä pre ľudí v rôznych oblastiach. A predsa, pre optimálne využitie UAV by sme mali pochopiť ich technicko-prevádzkové charakteristiky, ktoré sú kľúčové pri určovaní ich schopnosti plniť konkrétne úlohy a požiadavky v rôznych prostrediach a situáciách.

Táto práca je určená na oboznámenie ľudí s technicko-prevádzkovými parametrami dronov, ktoré sú potrebné definovať pre rôzne účely použitia. Je potrebné povedať, že túto prácu treba vnímať skôr ako sprievodcu, nie príručku, ani manuál, s tým, že zariadenia ako UAV sa neustále zdokonaľujú a veľmi intenzívne k nim pribúdajú nové veci, ako napríklad integrácia umelej inteligencie (AI), ktorá síce bude čiastočne analyzovaná počas návrhu modelov v ďalších kapitolách, ale je len v počiatočnom štádiu vývoja. Na účel efektívneho využitia dronu v tej alebo inej oblasti tento dokument zahŕňa relevantne informácie ohľadom špecifických parametrov ako princípy ovládania, systémová integrácia bezpečnostných funkcií, rôzne snímače, letové vlastnosti a spracovanie všetkých údajov dronom pre naše potreby. Náročnosť a teda dôležitosť tejto práce je v tom, že každé UAV, bez ohľadu na jeho aplikáciu, si vyžaduje osobitný prístup. To znamená, že každá oblasť potrebuje samostatnú analýzu všetkých týchto aspektov, ktorých je veľmi veľa. Preto potrebujeme systém, ktorý pomôže

človeku určiť potrebné technicko-prevádzkové charakteristiky žiadaného drona.

Zavedenie takého systému pomôže lepšie pochopiť princípy činnosti daného UAV a tým pádom nie len zjednoduší riešenia problémov týkajúcich sa aplikácií drona ako takého, ale aj optimalizuje a zvýši efektívnosť jeho práce s pomocou správneho integrovania všetkých potrebných parametrov.

V prvej kapitole tejto práce bude opísaná teoretická časť zameraná na charakterizovanie UAV, ich možných využití, problémov, vyhlášok, dôležitosti využitia a globálneho rastu. V druhej časti sa bude zameriavať na komplexnosť využitia UAV pre rôzne aplikácie ako napríklad záchranárske činnosti typu SAR, drony pre extrémne športy, inšpekcia infraštruktúry, poľnohospodárstvo a 3D mapovanie. Tu sa popíše, prečo je dôležité vytvorenie modelu pre rýchlejšie analyzovanie problémov a vyriešenie technicko-prevádzkových charakteristík. V tretej časti sa navrhne samotný model, kde sa zdefinujú technické komponenty a na základe výsledkov bude možno určiť, aký typ UAV je pre daný účel optimálny. V ďalšej časti bude detailne vysvetlené ako tento model vznikol, rozpisu sa jednotlivé položky a ich vzťahy medzi sebou s odôvodnením.

2. Metodika a metódy skúmania

Pred písaním svojej práce som najprv musel zdefinovať jej cieľ a presne vymedziť, čo sa budem snažiť dosiahnuť. Ďalej som pokračoval s identifikáciou relevantnej literatúry a teoretických konceptov, buď národného alebo cudzieho pôvodu. Potom by som mal popísať, aké metódy výskumu budem používať a prečo sú vhodné pre moje ciele. Tak som si vybral vzor - prácu, ktorú som používal ako príklad, a s týmto mi pomohol môj školiteľ. Ďalej som pomocou jednoduchšej techniky analýzy dokumentov začal zber dát, pričom najdôležitejšie informácie som zapisoval a robil poznámky. Na základe týchto údajov som vedel opodstatniť všetky korelácie vytvorené v mojej tabuľke a

interpretovať ich vo svojej práci. Čo sa týka metód skúmania, tak v tejto oblasti som využil literárnu analýzu, pri ktorej som preskúmal existujúcu literatúru zameranú na moje témy a získal prehľad o súčasnom stave v danej oblasti. Pri tom som mohol použiť aj komparatívnu analýzu, kde som porovnával výsledky svojho výskumu s výsledkami iných relevantných štúdií alebo teoretickými predpokladmi.

3. Výsledky

Výsledkom môjho výskumu je schéma, ktorá vie porovnať a nájsť korelácie medzi jednotlivými technicko-prevádzkovými charakteristikami pre 5 rôznych najpoužívanejších spôsobov aplikácie UAV. Takáto jednoduchá tabuľka môže veľmi silno pomôcť pri hľadaní možností zlepšenia konkrétneho odvetvia dronov a taktiež optimalizovať prevádzku už existujúcich modelov. Nielen praktická časť ukazuje na pozitívne výsledky tejto práce, ale aj problematika zdôrazňuje nutnosť osobného prístupu k každému spôsobu použitia UAV.

4. Záver

V prvom rade by som chcel povedať, že ciele stanovené pred začiatkom písania tejto práce boli takmer úplne naplnené. V prvom rade bola dobre vykreslená situácia s charakteristikami dronov na dnešnú dobu. Práve tento príklad nevenovania dostatku času detailnejším aspektom technického a prevádzkového charakteru nás uviedol do problematiky tejto témy. Následne bolo podrobne popísaných niekoľko prevažne odlišných použití dronov s príkladmi ich rôznych technických komponentov a prevádzkových požiadaviek, čo pomohlo lepšie pochopiť, že každý z nich si vyžaduje osobitný prístup. Každý z nich, aj keď sa zdalo, že majú spoločné črty a možno aj identické systémy prístupu k plneniu úloh, ktoré majú pred sebou zadefinované, sú to práve ich odlišné sféry činnosti a prostredie využívania týchto funkcií a vlastností, ktoré ich robia veľmi odlišnými v konečnom dôsledku.

Práve táto vlastnosť ich rozličnosti s podobnými charakteristikami si vyžiadala vytvorenie technicko-prevádzkového modelu, ktorý pomôže lepšie a dostatočne rýchlo pochopiť všetky ich vlastnosti. Preto vznikla tabuľka, ktorá spája najdôležitejšie, na základe predtým analyzovaných spôsobov využitia dronov, technických a prevádzkových charakteristík a ukazuje vzťah medzi nimi. Tieto vzťahy sú predmetom praktickej časti tejto práce. Vyžadovalo si to dostatočne dôkladný rozbor témy a až pomocou získaných poznatkov sa vytvárali jednotlivé vzťahy. Treba tiež poznamenať, že model bol vytvorený čo najjednoduchší pre ľahšie pochopenie a pre menšiu zložitosť analýzy týchto charakteristík.

Pri porovnávaní technických a prevádzkových parametrov boli pri príprave tejto práce a vytvorení samostatných vzťahov v tabuľke použité logické analýzy, príčino-následkové vzťahy, metódy predpokladov, ako aj výsledky výskumu tejto problematiky. Všetky pomohli určiť vzťahy medzi určitými parametrami, ktoré zase zdôrazňujú, že v prípade zlepšenia jedného alebo druhého technického alebo systémového parametra sa zlepšia prevádzkové charakteristiky, ktoré s nimi korelujú. Rovnakým princípom môžeme hľadať problémové oblasti dronov, ktoré napríklad narúšajú alebo zhoršujú letové vlastnosti a kvalitu plnenia úloh. Pomôže to optimalizovať

prevádzku bezpilotného lietadla a ušetriť peniaze na jeho nákup alebo opravu.

Na začiatku sa písalo, že takmer všetky stanovené ciele boli splnené a to preto, že model nie je ideálnym nástrojom na riešenie všetkých záležitostí pri výbere dronu. Samozrejme si to vyžaduje ďalšie vylepšenia a podrobnejšiu analýzu, vďaka ktorej bude tento model väčší a relatívne zložitejší, pretože aj technické a systémové charakteristiky si vyžadujú vzájomnú analýzu. Aj samotné technické parametre dokážu vytvárať prepojenia, ktoré výrazne ovplyvňujú chod dronu. Vo všeobecnosti má táto metóda analýzy veľký potenciál a značnú využiteľnosť pre každého, kto sa zaujíma o optimalizáciu a úspory pre rôzne aplikácie UAV.

Referencie

- ABDULLAH, Qassim (2010). *Classification of the Unmanned Aerial Systems | GEOG 892: Unmanned Aerial Systems*. Online. In: Psu.edu. Dostupné na: <https://www.education.psu.edu/geog892/node/5> [citované 2024-03-14].
- ADONI, Wilfried Yves Hamilton; LORENZ, Sandra; FAREEDH, Junaidh Shaik; GLOAGUEN, Richard and BUSSMANN, Michael (2023). *Classification of Uncrewed Aerial Vehicles*. Online. In: encyclopedia.pub. Dostupné na: <https://encyclopedia.pub/entry/43656> [citované 2024-03-20].
- Federal Ministry For Digital and Transport (bez dáta). *Distinguishing between categories of operation | dipul | Digital Platform for Unmanned Aviation*. Online. dipul. Dostupné na: <https://www.uas-operations.de/homepage/en/information/categorizing-drone-operations/distinguishing-between-categories-of-operation/>.
- INSPIRED FLIGHT (2023). *Top 10 Commercial Uses For Drones | Inspired Flight Technologies*. Online. www.inspiredflight.com. Dostupné na: <https://www.inspiredflight.com/news/top-10-commercial-uses-for-drones.php#aagriculture-farming>.
- JOUAV (2022). *Types of Drones and UAVs*. Online. <https://www.jouav.com>. Dostupné na: <https://www.jouav.com/blog/drone-types.html>. [citované 2024-04-14].
- Nariadenie (EU) 2019/947 a (EU) 2019/945 o bezpilotných systémoch (UAS).
- TUĞRUL, Koç Mehmet (2023). *Drone Technologies and Applications*. Online. www.intechopen.com. Dostupné na: <https://www.intechopen.com/chapters/1154922>.



ANALÝZA NEKONVENČNÝCH AERODYNAMICKÝCH KONFIGURÁCIÍ LIETADIEL

Emil Šlachtič
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Patrik Veľký
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This article deals with the research and analysis of unconventional aerodynamic configurations of aircraft, developed in the aerospace industry. Primary CFD simulations of the respective models were used for the purpose of research and analysing the configurations, as well as analysis of the airflow around the 3D models in the wind tunnel of Air Transport Department. The aim was to find out why these configurations are not being used, or why they should be used in the aviation industry nowadays. The analysis was carried out mainly from an aerodynamic point of view. The different models were chosen based mainly on IATA's forecast of trends in air transport. From the analyses, it was found that certain models are more efficient than their conventional counterparts, mainly due to the reduction in induced drag. However, these configurations are also much more sensitive to flutter due to the high aspect ratio, which poses a challenge especially from a structural point of view. It can therefore be assumed that the reason for not using these configurations represent a significant reduction in operating costs, they are unprofitable for operators. In contrast, BWB configurations appear very promising in terms of both efficiency and fuel savings, and it is therefore assumed that these models may enter service in 2030.

Keywords

Unconventional aerodynamic configurations, BWB, Aerodynamics, Induced drag, Flutter

1. Úvod

Od prvého letu v roku 1903 sa lietadlá vyvíjali z jednoduchých drevených trupov, do zložitých konštrukcií, ktoré dokážu prepravovať státisíce ľudí a náklad na celom svete. Napriek tomu, že klasický dizajn lietadiel, ako ho poznáme dnes, dominuje na oblohe, existuje stále nespočetný počet nekonvenčných konfigurácií, ktoré si zaslúžia pozornosť. Tieto nekonvenčné konfigurácie ponúkajú rôzne výhody a riešenia pre budúcnosť leteckej dopravy a technológie. Konvenčnému chápaniu konštrukcie lietadiel dlho dominovali známe konvenčné konfigurácie priamych krídiel. Ako však technológia pokročila a výpočtové schopnosti dozreli, leteckí inžinieri čoraz viac obracali svoju pozornosť na alternatívne konfigurácie, ktoré ponúkajú potenciálne výhody z hľadiska výkonu, efektívnosti a všestrannosti. Tradične bol dizajn lietadla obmedzený súborom zavedených princípov a konvencií, ktoré určujú usporiadanie a geometriu komponentov lietadla. Keďže sa však leteckí inžinieri snažia optimalizovať výkon naprieč celým radom kritérií, od palivovej účinnosti až po manévrovateľnosť, čoraz viac sa uznáva, že nekonvenčné konfigurácie môžu ponúkať nevyužitý potenciál. Konštrukcie konvenčných lietadiel sú často obmedzené faktormi, ako je indukovaný odpor vzduchu a víry na konci krídiel, ktoré môžu znížiť celkovú účinnosť a výkon. Odchýlením sa od konvenčného usporiadania a skúmaním alternatívnych konfigurácií, ako sú zmiešané krídlové telesá alebo lietajúce krídla, sa inžinieri snažia minimalizovať tieto neefektívnosti a odomknúť nové možnosti aerodynamickej optimalizácie. Vymanením sa z obmedzení, vyplývajúcich z tradičného usporiadania, môžu inžinieri navrhnúť lietadlá, ktoré sú vhodnejšie pre konkrétne trasy alebo prevádzkové prostredia. Či sa jedná o operácie s krátkym vzletom a pristátím alebo vysokorychlostný transsonický let, nekonvenčné

konfigurácie majú potenciál prispôsobiť lietadlá jedinečným požiadavkám rôznych aplikácií.

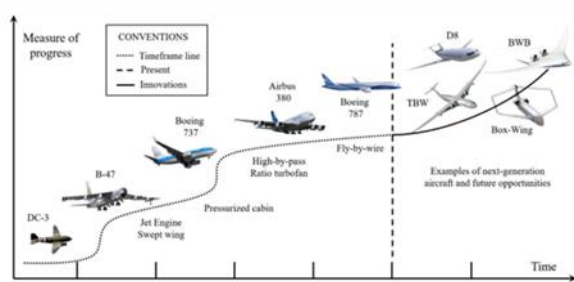
2. Nekonenčné konfigurácie

Táto časť je zameraná na dôležitý výskum nekonvenčných konštrukcií lietadiel, ktorý vykonal priemysel, vládne subjekty a akademické obce. V priemysle sa nové lietadlá a motory navrhujú tak, aby vytvárali príjmy pre výrobcu, čo znamená, že musia poskytovať finančnú návratnosť pre prevádzkovateľa. Preto nové lietadlá zvyčajne minimalizujú kombináciu priamych prevádzkových nákladov a čistej súčasnej hodnoty (Net present value), s výhradou, v súlade s predpismi. V tomto prípade spotreba paliva prichádza prostredníctvom priamych prevádzkových nákladov, regulácie hluku sa dosiahnu prostredníctvom predpisov a zníženie emisií prostredníctvom zníženia spotreby paliva a určitého regulačného tlaku (ICAO - nová norma CO2) [1].

Naopak, na akademickej pôde a vo výskumných ústavoch, sa poskytuje väčšia flexibilita v cieľových funkciách a priestore návrhu. Keďže tieto štúdie sa často zameriavajú na dlhšie obdobie, očakávajú sa vyššie ceny palív a ďalší regulačný tlak. V každom prípade, bez ohľadu na to, či technológia bude alebo nebude prijatá v priemysle, bude v konečnom dôsledku závisieť od jej finančnej životaschopnosti. Na výskume lietadiel novej generácie sa aktívne podieľa viacero subjektov na celom svete, pričom ako potenciálni nástupcovia súčasných lietadiel CTW bolo predložených viacero nápadov. Konceptie ako SBW a TBW majú krídlo s veľmi vysokou štihlosťou a ich cieľom je znížiť indukovaný odpor počas letu, pričom sa snažia udržať čo najnižšiu hmotnosť. Vychádzajú však zo súčasných konštrukcií trupu, čo predstavuje nižšie náklady a riziko ako iné konceptie, napríklad BWB alebo koncepcia Flying-V. Najmä posledné

menované koncepcie zvyšujú aerodynamickú účinnosť využívaním mnohých efektov, ktoré v konečnom dôsledku zvyšujú plošnú štihlosť a znižujú hmotnosť. Umožňujú zväčšiť rozpätie krídla, a tým prinášajú výhody z hľadiska indukovaného, aj trecieho odporu. Problémom týchto koncepcií sú však obmedzené skúsenosti s návrhom a väčšia neistota, napríklad pri odhade konštrukčnej hmotnosti a správania sa pri stabilite. V dôsledku toho musí byť predpokladaný prínos a dôvera v túto predpoveď v prípade týchto koncepcií vyššia, aby sa odôvodnilo riziko a investície potrebné zo strany priemyslu [1].

Napriek týmto obmedzeniam, ktoré zároveň predstavujú príležitosť pre budúce štúdie, existujú potenciálne technológie schopné konkurovať súčasnej konfigurácii CTW (viď. obrázok 1). IATA uviedla odhadované prínosy takýchto technológií v oblasti palivovej úspornosti, vrátane klasifikácie úrovne technologickej pripravenosti a uvedenia do prevádzky. Vidíme, že niektoré nekonvenčné konfigurácie majú potenciál zlepšiť palivovú účinnosť rádovo o 30 %, ale plne elektrické alebo hybridné elektrické lietadlá pravdepodobne pokryjú veľkú časť zvýšenia tejto účinnosti. Preto existuje veľká snaha zlepšiť účinnosť budúcich lietadiel zavedením nových technológií a nových konštrukčných koncepcií. Podľa poslednej nezávislej odbornej skupiny pre integrovaný výskum je však nepravdepodobné, že nekonvenčné konfigurácie budú v prevádzke pred rokom 2037 [1].



Obrázok 1. Pokrok v konštrukcii komerčných lietadiel, od konvenčných návrhov až po lietadlá novej generácie. Zdroj: [6]

2.1. Koncepcia Blended/hybrid wing bodies

Koncepcia BWB je jednou z najslubnejších nekonvenčných konfigurácií, ktorá poskytuje niekoľko rôznych výhod v porovnaní s lietadlami CTW. V tejto konštrukcii je tvar trupu lietadla upravený tak, aby mohol prispievať k vytváraniu vztlaku, t. j. trup a krídla sú spojené a chvostové plochy sú väčšinou odstránené, čím vzniká jediné vztlakové teleso, ktoré ponúka výrazné zníženie interferenčného odporu. Tým sa zvyšuje aerodynamická účinnosť a sprístupňuje sa ďalší priestor v kabíne na zvýšenie kapacity pre cestujúcich a náklad. BWB tiež umožňuje lepšie upraviť rozloženie nákladu, čím sa znižujú ohybové momenty. To umožňuje väčšie rozpätie krídla, čo prináša výhodu indukovaného odporu [1].

Integrálne usporiadanie "blended wing body" (BWB) sa považuje za aerodynamicky najdokonalejšie usporiadanie pre lietadlá s dlhým doletom. Koncepcia BWB je zameraná na úplnú elimináciu trupu, ako hlavnej časti odporu vzduchu. Teoreticky by pomer vztlaku a odporu týchto konfigurácií mohol byť pri rovnakej štihlosti krídla o 40% vyšší ako pri klasickom usporiadaní [2].

V civilnom letectve sa konfigurácia BWB vždy považovala za typický príklad futuristického lietadla, ktoré by mohlo vstúpiť do služby v priebehu niekoľkých nasledujúcich desaťročí. Vedci z NASA, Boeingu, Airbusu a DLR okrem iného pracujú na svojej novej generácii lietadiel a testujú koncepty BWB na budúce komerčné účely. Na preskúmanie jeho aerodynamických schopností, ako aj stability a vlastností riadenia a ovládania boli vyrobené a testované niektoré experimentálne bezpilotné koncepty v malom merítku, ako napríklad X-48 (viď. Obrázok 9) a koncept MAVERIC so zmiešanou konštrukciou krídla. V prípade X-48 letové testy ukázali, že lietadlo bolo tichšie, ako sa očakávalo a malo lepšiu spotrebu paliva pri lete s väčšou hmotnosťou. Podobne v júni 2019 prvýkrát vzlietlo lietadlo MAVERIC, ktoré preukázalo potenciál znížiť spotrebu paliva až o 20% v porovnaní so súčasnými lietadlami [4].

2.2. Koncepcia Box Wing

Konfigurácia BW sa vyznačuje uzatvoreným krídlom, ktoré sa intenzívne skúma od roku 1924, keď Prandtl vynašiel "najlepší systém krídla". Podľa Prandtla je najlepším systémom krídla práve BW, ktoré by mohlo dosiahnuť oveľa nižšie hodnoty indukovaného odporu, ako ekvivalentné jednoplošníky, ktoré majú rovnaké rozpätie a vztlak. Tento teoretický základ viedol k viacerým snahám, ktoré sa zamerali na štúdium problému indukovaného odporu v uzavretých krídlach a ich optimálneho rozloženia vztlaku. Neskôr Frediani a Montanari skúmali systém BW za predpokladu, že vztlak je rovnomerne rozložený na predných a zadných krídlach. Výskumy Demasiho a kol. však neskôr ukázali, že rozloženie optimálneho aerodynamického zaťaženia/prúdenia na BW sa neriadi eliptickým zákonom. Skutočné riešenie má totiž tvar, ktorý sa mení od kvázi eliptického, pre nulovú medzeru medzi krídlami až po konštantné rozloženie, keď sú krídla od seba extrémne vzdialené. Moderná výpočtová aerodynamika poskytla ďalší pohľad, ktorý dokazuje silnú koreláciu medzi numerickými výsledkami a Prandtlovou predpoveďou [3].

Neskôr štúdie koncepcného návrhu na rôznych úrovniach presnosti dospeli k záveru, že BW ponúkajú lepšiu výkonnosť ako konvenčné krídla bez toho, aby prekročili obmedzenia rozpätia krídla kvôli letisku alebo sa výrazne odchyľili od koncepcie CTW. O komplexných prehľadoch konfigurácií krídiel, ktoré nie sú rovinné, poukazujú: Cavallaro a Demasi, Wolkovitch, Buttazzo a Frediani. V týchto publikáciách sa rozoberajú konštrukčné výzvy a inovácie rôznych konfigurácií nerovinných krídiel, ktoré pokrývajú rôzne technické oblasti, ako sú aerodynamika, konštrukcie, aeroelasticita, stabilita a riaditeľnosť [5].

2.3. Strut a truss braced konfigurácie

Hlavný rozdiel spočíva v tom, že koncepcie TBW majú vzperu a prvky spájajúce vzperu a krídlo, čo umožňuje ďalšie zvýšenie štihlosti. Dlhšie krídla však podliehajú trepotaniu, preto sa na zmiernenie tohto javu používajú priehradové nosníky. Výsledkom takejto konfigurácie je podstatne väčší konštrukčný priestor, pretože priehradové prvky si vyžadujú ďalšie konštrukčné premenné, ktoré zohľadňujú veľkosť a tvar každého prvku priehradového prierezu. Dve hlavné výzvy, ktorým čelia koncepcie SBW a TBW, sú preto trepotanie a rázové vlny v oblastiach spojov a v "kanáli" vytvorenom priehradovým nosníkom. Vzpera je tiež výzvou pre konštrukciu SBW, pretože vzpera podlieha tlaku počas záporných podmienok zaťaženia a

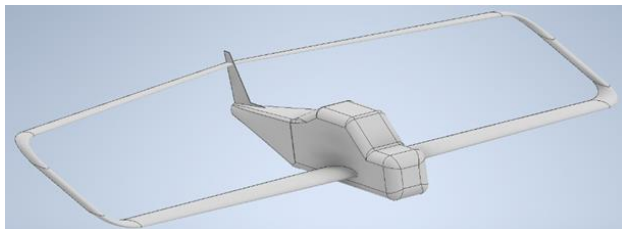
vnútorný segment krídla je ovplyvnený tlakom počas kladných podmienok zaťaženia, čo si vyberá svoju daň. Toto všeobecne platí pre všetky spojené systémy krídla, vrátane BW, ktoré sú staticky neurčitými konštrukciami. Je dôležité poznamenať, že hlavné problémy z hľadiska aerodynamických a konštrukčných nelinearít predstavujú konštrukčnú výzvu, pretože podrobný návrh a certifikácia si vyžadujú presnejšie postupy [19]. Najdôležitejšie výsledky ukazujú výhodu vzperových a jednoduchých priehradových konfigurácií oproti konzolovým lietadlám CTW z hľadiska spotreby paliva. Veľké rozpätie krídla týchto koncepcií, ktoré môže byť citlivé na aeroelastické javy, predstavuje v počiatkových štádiách značnú konštrukčnú a aerodynamickú neistotu [19]. Koncepty SBW a TBW vykazujú vyššie hodnoty L/D ako ekvivalenty CTW. Je to očakávaný výsledok, keďže tieto koncepty majú krídla s väčšou štvorcitosťou a sú navrhnuté na prevádzku vo väčších cestovných hladinách ako bežné lietadlá. Okrem toho štúdie uvádzali rôzne prístupy k návrhu, z hľadiska cieľových funkcií, konštrukčných obmedzení a technologickej realizovateľnosti. Niektoré lietadlá využívali súbor aerodynamických úvah na zníženie odporu pri trení plášte, ako je relaminarizácia trupu a bezchvostové usporiadanie, ktoré podstatne zvýšili hodnoty L/D . Takéto konfigurácie predstavujú optimistické hodnoty L/D v dôsledku zahrnutia agresívnych technológií. Naopak, niektoré lietadlá sú obmedzené účinkami trepotania a tiež penalizované odporom. Preto dochádza k rozporu v uvedených hodnotách [19].

3. Metodika a metódy skúmania

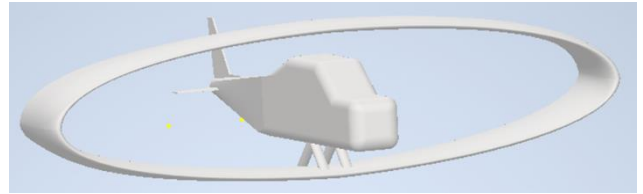
Táto kapitola je zameraná na to, ako bola vykonávaná tvorba a analýza nekonvenčných konfigurácií. Najskôr prebehol výber nekonvenčných modelov, ktoré boli analyzované. Následne sa vybrali patričné profily krídiel. Analýza zahrňovala prácu v 3D prostredí a simulačnom programe. Vytlačené modely sa následne analyzovali vo veternom tuneli.

3.1. Autodesk inventor

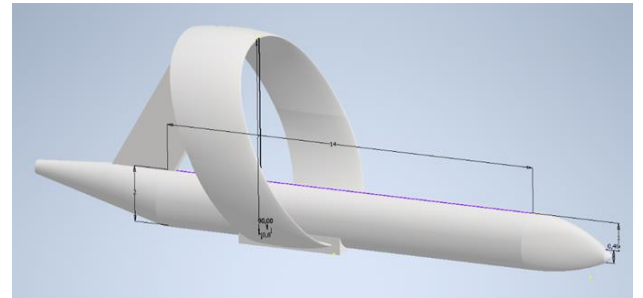
Základom tvorby 3D modelov sa využívalo prostredie Autodesk Inventor. Tu boli vymodelované príslušné modely. Výber každého modelu bol individuálny. 1. model bol podobný takzvanému „PrandtlPlane“. Ďalej bol analyzovaný model, podobný ako „Narushevich Ring Wing OW-1 s oválnymi krídlami. Dopravné lietadlá boli založené na predpovedi IATA, aké trendy by mohli vstúpiť do komerčnej prevádzky v nasledujúcich rokoch. Konfigurácia BW, BWB. Posledný Lockheed Ring Wing model bol vybratý z hľadiska analýzy, či by vôbec dokázal produkovať vztlak.



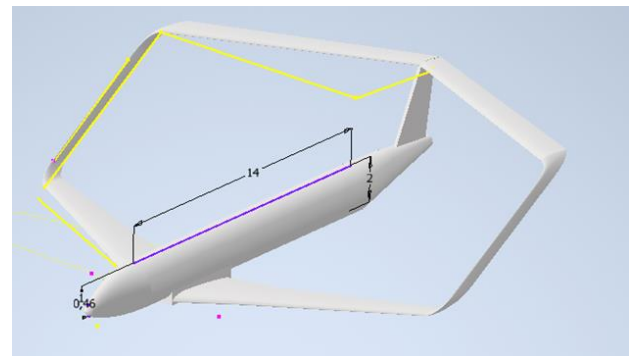
Obrázok 2. model BW určený pre GA.



Obrázok 3. model oválneho krídla určený pre GA



Obrázok 4. model konfigurácie Ring Wing



Obrázok 5. konfigurácia BW



Obrázok 6. Airbus MAVERIC

3.2. Použité profily

Na konfigurácie sa použili rôzne profily krídiel. Na modely GA sa použil profil NACA 2412. Tento profil bol zvolený z toho hľadiska, že ho využíva napríklad Cessna 172, čo môžeme považovať za rozšírený model vo všeobecnom letectve. Ďalej bolo nutné použiť symetrický profil na kolmé plochy krídiel. Na tento účel bol použitý profil NACA 0015. Čo sa týka dopravných lietadiel, na tých došlo k použitiu profilu NACA 23012, ktorý poskytuje nižšiu hodnotu vztlaku ako NACA 4412. Pre väčšie uhly nábehu však vykazujú obe takmer identické hodnoty. V prípade NACA 23012 dochádza tiež k odtrhnutiu prúdu neskôr ako v porovnanom profile. Opäť bolo potrebné použiť aj symetrický profil, ktorým bol tentokrát profil NACA 0012, ktorý je na porovnanie od NACA 0015 tenší.

3.3. ANSYS

Po úspešnom vymodelovaní všetkých modelov sa následne vkladali do simulačného programu ANSYS. Tu bolo nutné nastaviť testovaciu sekciu každého modelu a taktiež uhol nábehu. Následne program vytvoril okolo modelu takzvaný „mesh“, (viď. obrázok 18) pridali sa nastavenia medznej vrstvy. Na výpočet hrúbky 1. dielu medznej vrstvy sa využila y+ kalkulačka, (viď. Obrázok 17) kde sa zadali hodnoty rýchlosti prúdenia, hustoty, dĺžky tetivy a požadované diely medznej vrstvy. Využívali sa čísla ako 15 a 10 v závislosti od konkrétneho modelu. Ďalším krokom bolo už len nastavenie parametrov prúdenia v programe ANSYS. To zahŕňalo rýchlosť prúdenia, teplotu, tlak, viskozitu. Kvôli zachovaniu Reynoldsovho čísla profilu bola znížená hustota pre potreby čo najreálnejšej simulácie. Tá sa pohybovala okolo hodnoty 0.440011 kg/m³. Ďalej boli definované požadované číselné výstupy. Bola to hodnota vztľaku a odporu, ktorý produkuje konkrétny model.

3.4. Veterný tunel

Modely boli zostavované tak, aby sa zmestili do testovacieho priestoru veterného tunela Katedry leteckej dopravy. Keďže testovacia sekcia je v rozmeroch 30 x 30 cm, príslušné modely boli modelované v zmenšenej mierke. Kvôli nedostatku meracích prostriedkov v aerodynamickom tuneli, bolo prúdenie analyzované len vizuálne a to na dvoch modeloch, konkrétne na modeli číslo 4 a modelu Airbus Maveric, kvôli overeniu výsledkov simulácií.

4. Výsledky

4.1. Analýza 1. Modelu

Model BW, podobný typu „Prandtlplane“, okolo ktorého prúdenie bolo analyzované v prostredí ANSYS, s rozpätím 38 cm a výškou 5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a zníženou hustotou vzduchu. Najprv s uhlom nábehu 0° a následne aj 15° kvôli zisteniu turbulentného prúdenia a taktiež hodnôt vztľaku a odporu pre porovnanie s konvenčnou konfiguráciou priameho krídla. Hodnota odporu konfigurácie s 0° uhlom nábehu bola 0,19 N. Hodnota vztľaku 1,99 N.

Analýza prúdenia vzduchu na konci krídla, kde bol očakávaný pokles vírenia vzduchu na konci krídla, a tým pádom zníženia indukovaného odporu, toto tvrdenie vyvrátila. Vírenie je dokonca väčšie ako v konvenčnej konfigurácii a vír sa zviezol po konštrukcii krídla a pokračoval aj cez profil 2. krídla.

4.2. Analýza 2. Modelu

Model s oválnym uzavretým krídlom, podobný typu OW-1. S rozpätím 35 cm a výškou 8,5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 0° aj 15°. Pri 0° uhle nábehu odpor konfigurácie dosahoval 0,38 N. Vztlak dosahoval 1,7 N.

Analýza prúdenia vzduchu okolo modelu odhalila, že táto konfigurácia je citlivá na vyššie uhly nábehu, prúdenie sa odtrhávalo, najmä na vrchnej strane oválneho krídla. Toto môže byť spôsobené tým, že už drak z časti tieni nabiehajúci vzduch. Taktiež to mohlo byť tým, že tetiva profilu bola príliš veľká, možno ak by bola menšia, tak by nenastala až taká výrazná separácia.

Ďalším problémom by mohlo byť taktiež spojenie profilu s trupom, nehovoriac o prenose zaťaženia. Vidíme tu separáciu prúdenia, následkom uchytienia krídla s trupom, čo v značnej miere ovplyvňuje aj odpor. Na rozložení statického tlaku môžeme vidieť, že aj uchytienie krídla pod trupom predstavovalo značný odpor.

Analýza prúdenia vzduchu však odhalila, že síce sa tvoria víry následkom indukovaného odporu, ale nie sú až také výrazné, ako v konvenčnej konfigurácii, kde sa tvoria už hneď na profile. V tomto prípade sa vírenie začalo tvoriť až za profilom.

4.3. Analýza 3. Modelu

Model s okrúhlym uzavretým krídlom, podobný typu „Lockheed ring wing“. S rozpätím 7 cm a výškou 7 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 15°. Odpor mal hodnotu 0,1 N. Vztlak dosahoval 0,3 N.

U tohto modelu bolo zistené, že pri 15° uhle nábehu dosahuje kĺzavosť 1:3, avšak pri veľmi nízkych číslach vztľaku a odporu. Vychádzajúc z tohto tvrdenia je možné povedať, že táto konfigurácia by nebola schopná prevádzky. Vztlak by sa tvoril najmä pri koreni krídla a na vrchnej časti okrúhleho krídla.

Analýza prúdenia vzduchu odhalila, že vzduch má tendenciu skĺzavať na vrchnú stranu krídla, kde sa následne turbulizuje, to vysvetľuje ďalšiu separáciu.

4.4. Analýza 4. Modelu

Model BW konfigurácie. S rozpätím 21 cm a výškou 5 cm. Simulácia bola vykonávaná s prúdením 25 m/s a uhlom nábehu 15°. Odpor mal hodnotu 0,3 N. Vztlak dosahoval 1,35 N.

4.4.1. Analýza vo veternom tuenli

Prúdenie okolo tejto konfigurácie bolo skúmané aj vo veternom tuneli, s rýchlosťou prúdenia 100 km/h. Pozorovania z veterného tunela potvrdili výsledky simulácií, kde nebolo pozorované žiadne výrazné turbulentné prúdenie. Pri zvýšení uhlu nábehu o viac ako 15° je vidieť už aj vírivé prúdenie, ale taktiež sa tvorilo až za krídlom a nie priamo na krídle. Pri simuláciách je vidno, ako sa podieľa aj vrchné krídlo na tvorbe vztľaku.

Počas experimentu vo veternom tuneli bolo zistené, že pri väčšom uhle nábehu sa objavilo samobudené ohybovo-trozné kmitanie lietadla, čím môžeme zároveň konštatovať, že bude náchylný na trepotanie.

4.5. Analýza modelu Airbus Maveric

BWB konfigurácia modelu MAVERIC s rozpätím 3,7 m a výškou 0,7 m, bola simulovaná s 25° uhlom nábehu a rýchlosťou prúdenia 25 m/s. Hodnota odporu tejto konfigurácie je 162 N. Hodnota vztľaku 362 N.

Prúdenie vzduchu na konci krídla sa správalo podobne ako pri konvenčných krídlach dopravných lietadiel. Hodnoty odporu a vztľaku však nemôžeme porovnávať, pretože tento model mal výrazne väčšie rozmery ako ostatné modely. Celkové prúdenie okolo tohto modelu je optimalizované pre čo najvyššiu efektivitu konfigurácie BWB. Simulácie toto tvrdenie potvrdili, a čo sa

prúdenia týka, je vidieť značný rozdiel oproti konvenčným lietadlám. Môžeme predpokladať, že uvedením tejto konfigurácie do prevádzky sa výrazne znížia prevádzkové náklady. Simulácia tohto modelu bola zameraná primárne na problémy s nasávaním vzduchu do pohonnej jednotky následkom odtrhávania prúdnic pri vysokom uhle nábehu. V simuláciách je však vidieť, ako sa nabiehajúci prúd vzduchu vďaka konštrukcii práve vyhýba motorovej časti. Tým pádom to spôsobuje pokles rýchlosti prúdenia, práve pri motorovej časti, kde tento vzduch následne začína prúdiť v slučke, nakoľko pri simulácii motory neposkytovali žiaden ťah. Avšak, ak by motory začali produkovať ťah, táto oblasť by sa tam vôbec nemusela vyskytovať a prúdenie by ostalo naďalej laminárne.

4.5.1. *Analýza vo veternom tuneli*

Ako bolo spomenuté, v simuláciách sa ukázalo, že pred pohonnými jednotkami sa točí prúd vzduchu, v aerodynamickom tuneli sa toto tvrdenie potvrdilo. Tento jav by mohol mať samozrejme významný vplyv na pohonné jednotky, ako je napríklad nestabilná práca. Taktiež by mohli trpieť na nedostatok vzduchu vo vstupnom ústrojenstve. Ďalším krokom pre overenie tohto tvrdenia by bolo užitočné spraviť experiment, ako by sa toto zmenilo ak by motory nasávali vzduch.

5. Záver

Skúmanie nekonvenčných konfigurácií lietadiel predstavuje výzvu pre letecké inžinierstvo, kde sa inovácia prelína s tradíciou a predstavivosť poháňa pokrok. Integráciou poznatkov z disciplín od aerodynamiky po konštrukcie, môžu inžinieri prechádzať zložitými nekonvenčného dizajnu s väčšou istotou a presnosťou. Z analýzy dát, ktoré boli získané simuláciami sa zistilo, že príčiny nevyužívania týchto konfigurácií nespočívajú v aerodynamike, kde boli výsledky prúdenia lepšie, ako v porovnaní s konvenčnými konfiguráciami. Ako kľúčový bod tejto práce sa potvrdilo zníženie indukovaného odporu nekonvenčných konfigurácií. Zhrnuli sa súčasné poznatky z hľadiska efektivity a úspory paliva. V dnešnej dobe sa väčšinou skúmajú modely, ktoré by hlavne znížili spotrebu paliva, či to je už konfiguráciou alebo pohonnými jednotkami. Vývoj a výskum nekonvenčných konfigurácií sa rozvetvuje a testujú sa riešenia, ktoré by mohli nahradiť konvenčné modely. Najsľubnejším je konfigurácia typu BWB, pri ktorej hlavnou výhodou je jednoliatosť krídiel a trupu. Taktiež TBW, kde vďaka vysokej štihlosti krídiel, je možné dosiahnuť oveľa nižšie hodnoty odporu. Samozrejme aj tieto konfigurácie majú určité nevýhody, ktoré sú spojené najmä s aeroelastickými javmi a konštrukčnou náročnosťou. Regulačné schválenie, realizovateľnosť výroby a uvedenie na trh, však predstavujú značné prekážky na ceste k implementácii.

Referencie

- [1] Bravo-Mosquera, D. Pedro; Catalano, M. Fernando a Zingg, W. David (2022). Unconventional aircraft for civil aviation: A review of concepts and design methodologies. Progress in Aerospace Sciences. ISSN 03760421
- [2] Chernyshev, S. L.; Lyapunov, S. V. a Wolkov, A. V. (2019). Modern problems of aircraft aerodynamics. Advances in

Aerodynamics. doi:<https://doi.org/10.1186/s42774-019-0007-6>

- [3] Prandtl, L. (1924). Induced Drag of Multiplanes. National Advisory Committee for Aeronautics. Document ID: 19930080964
- [4] Liou, M.-S.; Kim, H. a Liou, M.-F. Challenges and Progress in Aerodynamic Design of Hybrid Wingbody Aircraft with Embedded Engines, National Aeronautics and Space Admin Langley Research Center (2016). [Online]. Dostupné na: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20160007898/download/20160007898.pdf>
- [5] Demasi, L.; Monegato, G. a Cavallaro, R. (2016). Minimum induced drag theorems for nonplanar systems and closed wings, in: Variational Analysis and Aerospace Engineering, Springer.
- [6] IATA, „www.iata.org,“ IATA Aircraft technology roadmap to 2050. [Online]. Dostupné na: <https://www.iata.org/en/programs/environment/roadmaps/> [citované 2024-10-04]



VÝBER VHODNÉHO VÝCVIKU PRE BUDÚCICH DOPRAVNÝCH PILOTOV

Martin Vasiľ
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

František jún
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The bachelor's thesis addresses a critical area of flight training programs that are essential in shaping the capabilities of new pilots in an era of increasing demands on pilots due to technological advances and global connectivity. The study addresses the components of flight training, from theoretical knowledge to practical flight experience, with an emphasis on the design of SPA/IR curricula adapted to the specific requirements and needs of aerotaxi operators. Through a systematic analysis and comparison of existing SPA/IR training curricula and programmes, the thesis highlights the strengths, limitations and potential developments in pilot training to meet industry requirements. The findings aim to improve the safety, efficiency and adaptability of pilots, and a transition to more specialised licensing is proposed to mitigate the risks associated with inexperienced pilots.

Keywords

SPA/IR, Training Development, Training Survey, Aerotaxi, MEP

1. Úvod

V neustále sa vyvíjajúcom prostredí letectva nebol dopyt po kvalifikovaných a zručných pilotoch nikdy tak dôležitý ako dnes. S technologickým pokrokom a rastúcou nevyhnutnosťou globálneho prepojenia sa úloha dobre vyškolených letcov stáva prvoradou. Práca je zameraná na návrh výcvikovej osnovy prispôbenej požiadavkami aerotaxi prevádzkovateľmi, v dôsledku dopytu po skúsenejších pilotoch. Spomínaný dopyt vznikol po incidentoch na jednopilotných lietadlách zapríčinených v dôsledku chýb neskúsených pilotov. Piloti ktorý sa rozhodnú po absolvovaní výcvikového programu pokračovať na typovú skúšku obsahujúcu niekoľko desiatok hodín nemôžu byť porovnávaní s pilotmi ktorý takúto typovú skúšku neabsolvovali. Týmto spôsobom vzniká priestor pre vznik novej pilotnej licencie SPA/IR (Single pilot aircraft), pilot jedno pilotného lietadla s prístrojovou kvalifikáciou.

2. Metodika a metódy skúmania

Podstatou kapitoly metodika a metódy skúmania je jasne zhrnúť pre čitateľa metodiku návrhu vlastnej osnovy pilota pre integrovanú a modulovú licenciu SPA/IR. Kapitola Cieľ a metodika práce opisuje postup pri riešení uvedenej problematiky, s cieľom porozumieť návrhu osnovy licencie SPA/IR pomocou analýzy odborných príprav, legislatívy a aktuálnej situácií v leteckom priemysle.

Metóda zberu a spracovania informácií bola použitá vo viacerých častiach bakalárskej práce, pri rozkladaní historického vývoja leteckých výcvikov, legislatívy a spracovaných odborných príprav. Cieľom tejto časti je rozšírenie všeobecných znalostí o leteckých výcvikoch, s nimi spojenou legislatívou a akým spôsobom sa výcvikové centrá riadia spomínanou legislatívou.

Metóda analýzy bola použitá pri rozklade primárnych prvkov legislatívy, ktorá určuje minimálne požiadavky typov leteckých licencií. V ďalšej časti bola použitá pri podrobnom spracovaní odborných príprav získaných od výcvikových centier

LVVC a DSA. Tento postup analýzy je na pochopenie spôsobu priebehu odborných príprav modernej dobe, a ich prepojenie s minimálnymi požiadavkami legislatívy podľa nariadenia EASA 1178/2011.

Metóda komparácie bola použitá pri porovnávaní navrhovanej osnovy SPA/IR s integrovanými a modulovými osnovami ATPL, na znázornenie rozdielov z hľadiska nalietaných hodín a získanej praxe počas výcviku a následný vplyv a dopady ktoré tieto rozdiely spôsobujú.

Metóda syntézy bola použitá pri navrhovaní integrovanej a modulovej osnovy výcviku SPA/IR od základného výcviku VFR, až po zložitejšie prístrojové lety na viacmotorových lietadlách. Metóda syntézy bola použitá na základe zozbieraných informácií metódami vyššie spomenutými a požiadavkám leteckého priemyslu a rozhovormi s osobnosťami leteckého priemyslu.

3. Výsledky

Navrhovaný výcvikový program s označením SPA/IR (Single Pilot Aircraft/Instrument Rating) je určený najmä pre pilotov, ktorí chcú pracovať v leteckých spoločnostiach poskytujúcich aerotaxi. Cieľom tohto programu je vycvičiť pilotov základnými zručnosťami a kvalifikáciami potrebnými na efektívne riadenie lietadiel, ktoré spĺňajú výzvy a požiadavky odvetvia aerotaxi. Tento cieľ bude dosiahnutý začlenením ďalších hodín pre viacmotorové piestové lietadlá (MEP) na simulátoroch FNTP (Flight Navigation Procedure Trainer) a hodín pre veliaceho pilota pod dohľadom (SPIC) do učebných osnov. Toto rozšírenie zabezpečí, že piloti získajú komplexné praktické skúsenosti so zvládaním letových scenárov a prevádzkových výziev. Začlenením týchto dodatočných hodín sa program zameriava na dôkladnú prípravu pilotov, nielen na splnenie požiadaviek v sektore aerotaxi, ale aj na dosiahnutie výsledkov v prostredí, ktoré si vyžaduje presnosť a bezpečnosť. Špecializáciou na prevádzku turbovrtulových lietadiel a malých turbínových lietadiel program SPA/IR zabezpečuje, že absolventi sú dobre

prípravení, čo z nich robí ideálnych kandidátov na pozície v tomto špecializovanom odvetví letectva.

Zaradenie dodatočných hodín pre viacmotorové piestové lietadlá (MEP) do učebných osnov by bolo obzvlášť výhodné pre pilotov, ktorí sa po získaní licencie ATPL alebo CPL rozhodnú lietať v sektore aerotaxi s lietadlami ako Piper PA34 Seneca, Pilatus a Beechcraft. Táto zmena sa navrhuje najmä preto, že piloti určení pre dopravné lietadlá získajú ďalšie letové hodiny prostredníctvom typových kvalifikácií. Piloti, ktorí majú v úmysle prevádzkovať aerotaxi na vyššie uvedených typoch lietadiel, však tieto dodatočné hodiny nezískajú, čo môže ohroziť bezpečnosť prevádzky.

3.1. Integrovaná odborná príprava SPA/IR

Prvé 3 fázy obsahujú spolu 82 hodín, z toho 50 letových hodín je žiak ako veliteľ lietadla a 32 hodín v dvojčlennej posádke s certifikovaným letovým inštruktorom. To vytvára základ pre pokročilý výcvik podľa pravidiel IFR a ponúka flexibilitu pri prechode na rôzne integrované cesty výcviku. 6 cvičení slúži ako nástroj na zoznámenie sa pilota-žiaka so samotným lietadlom. Na začiatku sa študent stretne so základnými a pokročilými technikami pilotáže, porozumie prostrediu navigačných letov a preletov a nebezpečenstvu oslepenia laserovým lúčom počas nočného letu. Tento súbor letových hodín zabezpečuje hĺbku praktických skúseností a dôkladne pripravuje študentov pilotov na ich budúce úlohy v leteckom priemysle. Široký rozsah učebného plánu, ktorý je zdokumentovaný v nasledujúcich častiach, stanovuje jasnú a podrobnú cestu k dosiahnutiu spomínaného stupňa pilotnej kvalifikácie.

Integrovaný kurz licencie SPA/IR s prístrojovou kvalifikáciou je navrhnutý rozsiahle a obsahuje učebné osnovy, ktoré zahŕňajú celkovo 200 letových hodín. Tento výcvikový program je ďalej doplnený podrobným opisom stanovených výcvikových hodín, ktoré sú uvedené v tabuľke nasledujúcich po tomto odseku. Kurz, ktorého cieľom je vybaviť začínajúcich pilotov pevnými základmi v oblasti letectva, poskytuje rozšírenú prípravu, ktorá zahŕňa teoretické vedomosti aj praktické zručnosti. Tým zabezpečuje, aby boli začínajúci piloti nielen dobre pripravení na plnenie prísnych požiadaviek leteckého priemyslu v odvetví aerotaxi, ale aj na to, aby mohli plynulejšie prejsť z prostredia výcviku do reálnej prevádzky vo svojej budúcej kariére pilotov.

Tabuľka 1.

Celkom			Dual		PIC		FNPT	
200:30			85:30	145	115:00	141	40:00	

3.2. Modulová odborná príprava SPA/IR

Nasledujúcou časťou je modulová odborná príprava navrhovanej licencie SPA/IR, musí byť súčasťou navrhovaných výcvikových osnov v dôsledku kompletnosti a dopytu študentov pilotov po väčšej flexibilitě a vlastnému tempu. Modulový kurz odbornej prípravy je štruktúrovaný do jednotlivých segmentov alebo modulov, vďaka čomu môžu uchádzači absolvovať každý modul samostatne. Modulárne školenie je vhodné najmä pre tých, ktorí potrebujú zosúladiť školenie s inými povinnosťami.

Modul	Názov	Obsah	Letové hodiny/ /FNTP	Nálet Total/PIC/FNTP
1.	Kurz PPL	SEP/VFR	45	45/20/0
1.	Preskúšanie PPL	SEP/VFR	1,5	46,5/21,5/0
2.	„Timebuilding“	SEP/VFR	50	96,5/71,5/0
2.	VFR Noc	SEP/VFR	5	101,5/72,5/0
2.	Teória ATPL	AVEX	-:-	-:-
3.	MEP IR	MEP/FNTP	21/40	127,5/72,5/40
3.	Preskúšanie MEP/IR	MEP	1,5	129/74/40
4.	„Timebuilding“ SEP IR	SEP/FNTP	10/5	139/84/45
4.	„Timebuilding“ MEP IR	MEP/FNTP	41/10	180/125/55
5.	Kurz CPL	MEP/VFR	15	195/125/55
5.	Preskúšanie CPL	MEP/VFR	1,5	196,5/126,5/55
-:-	SPA/IR modul	-:-	-:-	196,5/126,5/55

Prvé dva moduly modulárneho výcvikového programu SPA/IR zahŕňajú výcvik na získanie licencie súkromného pilota (PPL) spolu s "timebuildingom" určeným na získanie 100 letových hodín. Táto základná fáza je nevyhnutná na postup do ďalších segmentov výcviku, ktoré zahŕňajú hodiny pre viacmotorové piestové lietadlá/prístrojovú kvalifikáciu (MEP/IR) a teóriu licencie dopravného pilota (ATPL).

Po absolvovaní výcviku MEP získa pilot študent ďalšie hodiny výcviku Single-Engine Piston (SEP) a MEP Instrument Flight Rules (IFR). Tieto hodiny sú rozhodujúce nielen na splnenie podmienok na začatie fázy výcviku na získanie licencie obchodného pilota (CPL), ale aj na vybavenie študentov potrebnými skúsenosťami pre ich budúce úlohy pilotov SPA/IR v odvetví aerotaxi.

V navrhovanom učebnom pláne zostáva samotný výcvik CPL obsahovo nezmenený, ale prebieha na lietadlách MEP. Tento prístup zabezpečuje, že účastníci pilotného výcviku nielenže spĺňajú štandardné požiadavky, ale získavajú aj zručnosti na typoch lietadiel, ktoré sú priamo relevantné pre ich predpokladanú kariéru v aerotaxi službách. Táto metodická integrácia výcviku zameraného na konkrétne lietadlá zvyšuje vhodnosť aj uplatnenie získaných zručností a efektívnejšie pripravuje pilotov na požiadavky odvetvia.

Vďaka tomuto rozvrhnutiu učebných osnov bude pilot študent lepšie pripravený na kariéru v aerotaxi spoločnostiach, čo vedie k vyššej bezpečnosti vďaka ďalším skúsenostiam získaným počas letového výcviku.

Pri porovnaní počtu a typu letových hodín výcvikových ATPL a SPA/IR vieme určiť, že majú podobný celkový počet letových hodín. Výcvik SPA/IR však neobsahuje výcvik MCC, tento výcvik predstavuje pri integrovanej odbornej príprave 15 hodín a pri modulovej 20 letových hodín. Tieto hodiny v prípade SPA/IR sú mierené na podrobnejšiu prípravu študenta pilota v oblasti viacmotorových lietadiel a v prostredí zhoršených poveternostných podmienok, a teda letu podľa prístrojov IFR. Piloti, ktorí ukončia výcvik ATPL, pokračujú do leteckých spoločností, ktoré ponúkajú typovú kvalifikáciu. Vďaka tomuto aspektu majú pred začatím kariéry dopravného pilota možnosť rozšíriť svoje praktické skúsenosti s letaním v podobe spomínanej typovej kvalifikácie.

V dôsledku spomínaných skutočností je k návrhu leteckej odbornej prípravy SPA/IR pridaný počet hodín, čo zvyšuje bezpečnosť adaptability pilotov po absolvovaní odbornej prípravy SPA/IR.

Súčasťou návrhu je aj možnosť leteckých spoločností vybrať s pomedzi študentov pilotov vo výcviku, nádejných pilotov už počas výcviku. Piloti ktorý budú vybraný budú mať možnosť pracovného uplatnenia v danej leteckej spoločnosti so zárukou práce a možnosťou zjednodušiť finančnú náročnosť výcviku. Letecké spoločnosti by v tomto prípade uhradili percentuálnu časť platobnej výšky leteckého výcviku, čím by motivovali pilotov pokračovať a zlepšovať sa v odbornej príprave.

Hlavným dôvodom návrhu spomínanej licencie SPA/IR je skutočnosť že v rokoch 2009 až 2018 sa v jednopilotnej prevádzke vyskytla výrazne vyššia miera smrteľných nehôd, konkrétne 6,7 krát vyššia ako v prípade aerolínií. Tento trend naznačuje, že lety s jedným pilotom môžu mať aj naďalej vyšší výskyt nehôd súvisiacich so stratou kontroly počas letu v porovnaní s prevádzkou s viacčlennou posádkou. Tieto údaje zdôrazňujú kritický problém, ktorému by mali venovať pozornosť odborníci a organizácie zaoberajúce sa leteckou bezpečnosťou, pričom zdôrazňujú potrebu cielených bezpečnostných úprav v jednopilotných prevádzkach [13].

Len na území Slovenskej republiky eviduje Letecký a námorný vyšetrovaciu tvar v priemere 2 nehody spojené s jednopilotnými letúňmi ročne, čo tvorí 20-30% celkovej nehodovosti na našom území, v ostatných prípadoch ide najmä o letúň typu ultralight [14].

4. Záver

Hlavným dôvodom návrhu spomínanej licencie SPA/IR je skutočnosť že v posledných rokoch bola spozorovaná zvýšená pravdepodobnosť nehodovosti jednopilotného letúňa, zapríčinená chybou pilota. Táto práca prenikla do sveta leteckých výcvikových programov a zdôraznila ich kľúčovú úlohu pri formovaní nových pilotov s postačujúcimi vedomosťami, zručnosťami a skúsenosťami potrebnými na nastúp do prostredia leteckého priemyslu. Absolventi leteckých výcvikových pokračujúci do aerotaxi prevádzky potrebujú viac letových hodín aby dokázali pilotovať lietadlo bezpečnejšie a zručnejšie. Prostredníctvom analýzy rôznych zložiek leteckého výcviku od histórie a legislatívy až po finálny návrh výcvikovej osnovy SPA/IR, zisťujeme že tento návrh pripraví absolventov podrobnejšie, v porovnaní s inými odbornými prípravami na prevádzku v sektore aerotaxi. Táto štúdia zdôraznila potrebu neustáleho vývoja učebných osnov, aby sa zabezpečil hladký

prechod z prostredia odbornej prípravy do letovej prevádzky. Predložením komplexnej analýzy a odporúčaní práca prispieva k prebiehajúcej diskusii o výcviku pilotov a bezpečnosti v leteckom priemysle a poskytuje spoľahlivý rámec, ktorý zvyšuje kvalitu výcviku a následne bezpečnosť a efektívnosť prevádzky leteckých spoločností.

Referencie

- [1] R. McLean Stewart. Flying. [Online] [cit. 07.01.2024]. https://books.google.sk/books?id=8eZwmCXIH2kC&pg=PA74&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [2] ICAO. History of ICAO and the Chicago convention. [Online] [cit. 08.01.2024]. <https://www.icao.int/about-icao/History/Pages/default.aspx>
- [3] ICAO. Doc 7300/9. [Online] [cit. 08.01.2024]. https://www.icao.int/publications/Documents/7300_con_s.pdf
- [4] ECA. Pilot training compass. [Online] [cit. 08.01.2024]. <https://www.eurocockpit.be/news/pilot-training-compass-back-future>
- [5] Cengage. The International Civil Aviation Organization. [Online] [cit. 15.01.2024]. <https://www.encyclopedia.com/history/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/international-civil-aviation-organization-icao>
- [6] LPS SR. Letecké predpisy L. [Online] [cit. 15.01.2024]. <https://aim.lps.sk/web/index.php?fn=206&lng=sk&sess=zdxXOLScMcdISMfvfXfQFqdmLJdZkSzEIABHGFA>
- [7] ICAO. ICAO Training. [Online] [cit. 20.01.2024]. <https://www.icao.int/training/Pages/default.aspx>
- [8] ICAO. Training courses. [Online] [cit. 20.01.2024]. <https://www.icao.int/training/Pages/Training-Courses.aspx>
- [9] ICAO. Training development guide Doc. 9941. [Online] [cit. 20.01.2024]. https://www.icao.int/safety/TrainairPlus_Archive/Pages/TrainingDevelopmentGuidelines.aspx
- [10] EASA. Doc.1178/2011. [Online] [cit. 04.02.2024]. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/1178/oj>
- [11] DSA. Aircraft fleet. [Online] [cit. 02.03.2024]. <https://dsa.cz/en/index.php/letecka-skola/flotila-letadel>
- [12] Eduard Niko. Calculation of aerotaxi services. [Online] [cit. 03.04.2024]. <https://pernerscontacts.upce.cz/index.php/perner/article/view/574/413>
- [13] APS. Single pilot operations and crew comparison. [Online] [cit. 05.04.2024]. <https://apstraining.com/resource/single-pilots-face-over-6-times-greater-risk-of-loc-i/>
- [14] Letecký a námorný vyšetrovací útvar. Závěrečné správy. [Online] [cit. 05.04.2024].



OPTIMALIZÁCIA ČINNOSTI MOTORA ROTAX 915IS S ALTERNATÍVNOU RIADIACOU JEDNOTKOU

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

Jozef Čerňan
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of this bachelor's thesis was to optimize the performance of the ROTAX 915 IS engine using an alternative electronic control unit. This work provides a detailed overview of the mechanisms and control systems used in other engines as well. The thesis focuses on a comprehensive understanding of both the basic and auxiliary systems of the engine and provides a proposal for optimizing the performance of the ROTAX 915 IS engine. The optimization of the engine was designed to improve efficiency, increase engine performance, and overall reliability in various modes. Following the design, a testing phase ensued where the unit was subjected to extensive practical tests on a real ROTAX 915 IS engine. These tests demonstrated significant improvements in the controllability and performance of the engine, confirming the effectiveness of the proposed settings. The results of this bachelor's thesis highlight the potential of alternative control units to enhance the performance and efficiency of engines. The findings can be used for further research that could expand the use of alternative control units in other aviation engines.

Keywords

ROTAX 915is, Electronic Control Unit, optimization of the control unit, systems, engine

1. Úvod

Cieľom tejto bakalárskej práce je optimalizovať činnosť motora ROTAX 915 IS prostredníctvom alternatívnej elektronickej riadiacej jednotky. Prvotným krokom v našej práci je uvedenie čitateľa do kontextu fungovania rôznych motorov a ich riadiacich systémov. S dôrazom na komplexné pochopenie funkčnosti základných ako aj pomocných systémov motora, ktoré sú kľúčové pre jeho efektívne a bezpečné používanie, poskytuje táto práca podrobný prehľad o štruktúre a mechanizmoch, ktoré umožňujú motoru ROTAX 915 IS dosiahnuť jeho renomovanú výkonnosť a spoľahlivosť.

Práca pokračuje dôkladným popisom rôznych systémov motora ROTAX 915 IS, ktorý je široko využívaný v športovom letectve. Analyzujeme všetky relevantné komponenty motora vrátane jeho palivového, chladiaceho, mazacieho a elektrického systému, a zdôrazňujeme ich vzájomné pôsobenie a význam pre celkovú funkčnosť motora.

V ďalšej časti práce prichádzame s návrhom novej elektronickej riadiacej jednotky, ktorá by mohla prispieť k vylepšeniu efektívnosti, výkonu a adaptability motora na rôzne letové podmienky. Nová riadiaca jednotka je podrobená rozsiahlym testom na reálnom motore, aby sme overili jej funkčnosť a možné prínosy pre motor ROTAX 915 IS. Tieto testy sú kritické pre validáciu nášho návrhu a pre demonštráciu zlepšenia v reálnych prevádzkových podmienkach.

2. Metodika a metódy skúmania

2.1. Metodika práce

Zdrojom informácií pri spracovaní bakalárskej práce je literatúra vo forme:

- Internetových zdrojov

- Knižných zdrojov
- Manuálov
- Odborných príspevkov

2.2. Logické metódy a postupy použité pri spracovaní bakalárskej práce:

- Metóda zberu a spracovania informácií
- Metóda analýzy
- Metóda syntézy
- Metóda merania

Metóda zberu a spracovania informácií bola využitá predovšetkým v úvodnej časti práce a v kapitole venovanej teoretickému základu. V týchto sekciách som sa zameril na zber relevantných teoretických a praktických informácií o motore ROTAX 915 IS a porovnanie existujúcich riadiacich systémov.

Metóda analýzy bola využitá na posúdenie a porovnanie výkonu existujúcich a novonavrnutých riadiacich systémov pre motor ROTAX 915 IS. Začali sme zberom údajov z odborných zdrojov a technických databáz, ktoré sme následne analyzovali na identifikáciu kľúčových oblastí zlepšenia. Analýza zahŕňala porovnanie výkonnostných metrík a efektívnosti systémov, čo poskytlo dôkladný základ pre navrhované vylepšenia.

Metóda syntézy bola využitá v práci na integráciu zistení z analýzy súčasných riadiacich systémov do návrhu novej riadiacej jednotky pre motor ROTAX 915 IS. Táto metóda nám umožnila kombinovať rôzne technické riešenia a inovačné nápady do súvislého celku, ktorý bol optimalizovaný pre zvýšenie efektívnosti a výkonu motora.

Metóda merania v tejto práci bola zameraná na získavanie kvantitatívnych údajov o výkonnosti a efektívite novej riadiacej jednotky pre motor ROTAX 915 IS. Vykonali sme sériu testov, kde sme merali rôzne prevádzkové parametre. Tieto merania nám umožnili objektívne zhodnotiť výhody navrhovanej jednotky.

3. Návrh a praktická optimalizácia riadiaceho systému

Najdôležitejším komponentom pri optimalizácii riadiaceho systému je samotná riadiaca jednotka. Na riadenie systému sme využili riadiacu jednotku ECU MASTER od spoločnosti IMFsoft, s.r.o. Vďaka nej sme vedeli optimalizovať dobu vstrekovania paliva a predstih zapálenia zmesi. Dôležitou súčasťou však boli aj senzory vďaka ktorým sme dosiahli presnosť v riadení. Jedným zo senzorov bol snímač tlaku v sacom potrubí. Ten je integrovaný priamo v riadiacej jednotke a je prepojený pomocou vzduchovej hadičky so sacím potrubím. Ďalším dôležitým senzorom bol senzor polohy škrtiacej klapky. Je to potenciometer, ktorý je napojený na os otáčania škrtiacej klapky. Údaje z týchto senzorov sú vyhodnocované na základe veľkosti napätia, ktoré tieto senzory prepúšťajú. Maximálna hodnota ktorú dokáže senzor namerať sa rovná 5V a minimálna sa rovná 0V.

Oba tieto senzory bolo nutné tiež prekalibrovať pretože počas prvých testov sme zistili že nemerajú presne. Je nutné aby tieto dva senzory merali s veľkou presnosťou, pretože na základe údajov z týchto senzorov vypočítava riadiaca jednotka zaťaženie motora. Pri väčšom zaťažení sa do motora vstrekuje viac paliva, tým sa obohacuje zmes a dosiahne sa vyšší výkon, ktorý je nevyhnutný na prekonanie zaťaženia motora. Pokiaľ zaťaženie motora klesne, riadiaca jednotka to dokáže vyhodnotiť a množstvo paliva znížiť.

Na optimalizovanie činnosti motora sme tiež využili senzor teploty chladiacej kvapaliny. Keďže ROTAX 915 IS využíva kvapalinové chladenie hláv valcov, bol pre nás tento údaj dostatočný a nemuseli sme využívať senzor teploty umiestnený pod sviečkou. Motor sme testovali s tlačnou vrtuľou a v stoji. Tým pádom nedochádzalo k dostatočnému prúdeniu vzduchu okolo motora a nebolo možné motor testovať dlhšie ako 5 až 10 minút. Preto bolo nutné zvýšiť výkon kvapalinového chladenia. To sme dosiahli tým, že sme pridali ďalší väčší chladič a na tento chladič sme namontovali ventilátor, ktorý je možné spustiť podľa potreby.

Posledný senzor, ktorý riadiaca jednotka využíva je senzor klepania motora. Tento senzor slúžil iba na monitorovanie pri nastavovaní predstihu zapálenia zmesi. Momentálne nie je využitý na automatizáciu systému.

Na nastavovanie časovania predstihu zapálenia zmesi a časovania doby vstrekovania paliva sme využívali 3D mapy. Os x predstavovala otáčky motora, os y predstavovala dobu vstrekovania alebo predstihu v milisekundách a os z predstavovala index zaťaženia motora. Tieto mapy boli v obslužnom softvéri riadiacej jednotky ECU MASTER od firmy IMFsoft s.r.o.

Nedostatkom pôvodného nastavenia doby vstrekovania paliva bolo, že motor bolo komplikované naštartovať a dostať do voľnobežných otáčok. Motor mal tiež problém zvýšiť svoje otáčky a vďaka lambda sonde sme zistili, že zmes bola príliš

chudobná. Pomer vzduchu a paliva (AFR) dosahoval hodnotu 15 až 15,6. Pôvodné nastavenie doby vstrekovania paliva bolo tiež určené iba na jeden režim zaťaženia motora. To znamená že pri zvýšenej záťaži sme neboli schopný dosiahnuť požadované otáčky motora. Do softvéru bolo tiež nutné naprogramovať ochranu pred prekročením maximálnych povolených otáčok motora.

Pôvodné nastavenie predstihu zapálenia zmesi bolo pre naše testovanie dostačujúce. Zmeny ktoré sme museli vykonať bolo taktiež nastavenie maximálnych otáčok motora a v nastavení softvéru sme tiež zmenili spôsob využívania 3D mapy pre predstih zapálenia zmesi. V nastaveniach totiž bolo, že pri zvýšenej záťaži sa predstih zapálenia zmesi má zväčšiť, lenže pri takomto chode motor dosahoval nepravidelné otáčky a silné vibrácie. Preto sme sa rozhodli využiť len jeden režim predstihu zapálenia zmesi.

Softvér má možnosť nastaviť elektronický sytič, ktorý je využívaný hlavne pri studenom štarte motora. Na obrázku 5.3 vidíme že množstvo vstrekaného paliva sa zvyšuje s klesajúcou teplotou a znižuje s dobou chodu motora. Toto nastavenie však nebolo vyhovujúce z dôvodu veľkého množstva paliva, ktoré bolo do motora vstrekané. To spôsobovalo zahľtenie motora palivom a dlhý štart.

Nastavenie tabuľky pre výpočet záťaže motora je tiež nevyhovujúce keďže pri takomto nastavení by riadiaca jednotka zbytočne obohacovala zmes aj keď by bol motor v skutočnosti nezatažený. Výpočet záťaže závisí od polohy škrtiacej klapky a tlaku v sacom potrubí. Čím väčší podtlak v sacom potrubí motor vytvára, tým je menej zatažený. V tabuľke si môžeme všimnúť že aj pri voľnobežnom nastavení škrtiacej klapky a pri 60 kPa, ktoré dosahoval motor keď nebol zatažovaný na voľnobehu vypočítava riadiaca jednotka záťaž 15%.

3.1. Proces optimalizácie riadiacej jednotky

Pri procese optimalizácie riadiacej jednotky bolo nevyhnutné vykonať niekoľko testovacích štartov. Zo začiatku sme sa snažili o nastavenie doby vstrekovania pre plynulý štart motora. To sme dosiahli tým, že sme upravili nastavenia sytiča. Pri našom testovaní sme brali ako optimálnu teplotu 50°C, preto pri teplote nad 40°C sme zamedzili pridávanie väčšieho množstva paliva do zmesi.

Upravili sme tiež mapu doby vstrekovania od 0 po 2000 otáčok motora a následne sme sa snažili o plynulý nárast doby vstrekovania do 4000 otáčok motora.

V ďalšom kroku sme obmedzili otáčky na 6000 otáčok za minútu. Testovali sme tiež nárast otáčok a akceleráciu motora kedy došlo do procesu aj zaťaženie motora. Ak chceme aby motor akceleroval rýchlejšie potrebujeme mu na istú chvíľu dodať viac paliva. Tu sme však prišli na to, že pôvodná tabuľka na výpočet záťaže motora je nevyhovujúca a preto sme ju museli pozmeniť. Ako vidieť na obrázku 5.6 nastavili sme 3D mapu tak, aby pri zvyšujúcej sa záťaži bolo vstreknuté viac paliva. Pri testoch sa však ukázalo, že kvôli zlému vypočítavaniu záťaže sme dostávali aj zlý index, ktorý spôsobil že na udávanie doby vstrekovania paliva sa využíval nesprávny graf z 3D mapy.

3.2. Finálne nastavenie riadiacej jednotky motora ROTAX 915 IS

Po viacerých testovaniach motora sme dodatočne doladili krivku pre dobu vstrekovania bez záťaže a následne sme k nej prispôbili ostatné. Dosiahli sme tým plynulý štart, optimálny pomer vzduchu a paliva a plynulú akceleráciu otáčok. Náš cieľ bolo dosiahnuť $AFR = 13$. Pri zvýšenej záťaži motora táto hodnota bola o 0,5 až 1 menšia čo nevadí, pretože chvíľkové obohatenie zmesi prispelo k nárastu výkonu.

3D mapu predstihu zapálenia zmesi sme dodatočne upravili tak, aby sa predstih nemenil ani pri zvyšujúcej sa záťaži. Takéto nastavenia boli pre nás dostačujúce.

Sytič sme optimalizovali tak, aby nad 40°C nepridával dodatočne palivo pretože zmes by bola veľmi bohatá. Tabuľku na výpočet zaťaženia motora sme tiež optimalizovali, aby vyhovovala skutočným podmienkam a stavom motora.

Referencie

[1] Autor



TECHNICKÉ PREVEDENIE SPÄTOVÄZOBNÉHO SYSTÉMU RIADENIA V LETECKOM SIMULÁTORE

Samuel Zimmermann
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Filip Škultéty
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of the article is to analyse the current issue of force feedback control systems in flight simulation training devices. The first part describes the current legislative classifications of training devices and the possibilities of accepting training credits for their use in flight training. The next section deals with the description of current solutions and their advantages and disadvantages. The final part presents a proposal for the implementation of the solution in a platform formed from the cockpit of a Zlin Z-142 aircraft. It includes visualisations of the individual parts of the elevator and ailerons force feedback system created in Autodesk Inventor.

Keywords

flight simulation, training device, force feedback system, control loading

1. Úvod

Letecká doprava je najmladším a najrýchlejšie sa rozvíjajúcim odvetvím medzi jednotlivými dopravami. Aj napriek viacerým snahám automatizácie je v súčasnosti stále najdôležitejším, a zodpovedným prvkom za rozhodovanie a riadenie lietadla človek. Pilotné výcviky majú rôzne kvalifikačné kategórie, a rôzne úrovne preukazov spôsobilosti. V mnohých z nich by sme sa okrem skutočného lietadla nezaobišli bez výcvikového zariadenia, ktoré má za úlohu simulovať let. Získaný preukaz spôsobilosti pilota, či určitej kvalifikačnej kategórie má obmedzenú platnosť. Platná legislatíva definuje intervaly, v ktorých musia byť piloti pravidelne preskúšaní zo zručností potrebných pre jednotlivé spôsobilosti. Opakovací výcvik je veľakrát vykonávaný na výcvikových zariadeniach.

Aby sme výcvikové zariadenia mohli v týchto situáciách využívať musia tieto zariadenia spĺňať prísne kritéria pre kvalifikáciu. Tým vieme dosiahnuť konzistentnosť pri ich konštruovaní. Rovnako zabezpečíme, že zariadenia, ktoré sa budú používať nebudú vytvárať klamlivé podnety, a nebudú mať negatívny vplyv na základný alebo opakovací výcvik pilota.

Jedným z prvkov, ktorý poskytuje výcvikovým zariadeniam požadovanú vernosť simulácie je aj späťoväzobný systém riadenia ovládacích prvkov. Na každý objekt pohybujúci sa v zemskej atmosfére pôsobia sily a momenty, ktoré opisujú Newtonove pohybové zákony. Zemská atmosféra je meniace sa prostredie, takže aj sily či momenty pôsobiace na daný objekt nie sú konštantné. Výcvikové zariadenia na simuláciu letu sú v súčasnosti nezávislé od pohybov v atmosfére. To znamená, že jednotlivé sily musíme určitým spôsobom nahrádzať a vytvárať ich dodatočne. Na to nám slúži práve späťoväzobný systém riadenia ovládacích prvkov.

2. Klasifikácia a rozdelenie výcvikových zariadení na simuláciu letu

Pochopenie rôznych kategórií a povolení na započítavanie hodín pre letové simulátory a výcvikové zariadenia je do určitej miery zložitá. Rozdelenia sa líši aj na základe miesta, v ktorom je výcvikové zariadenie prevádzkované. Existujú rozdiely v legislatíve naprieč celým svetom. Označovanie podľa americkej FAA je mierne odlišné tomu, ktoré používajú európsky (EASA), alebo austrálsky regulátory (CASA). My sa zameriame na označovanie podľa Európskej agentúry pre bezpečnosť letectva (EASA).

Výcvikové zariadenia na simuláciu letu ako súbor všetkých výcvikových zariadení EASA terminológia označuje ako FSTD - „Flight simulation training devices“. Definície a vysvetlenie jednotlivých pojmov definuje Nariadenie Komisie (EÚ) č.1178/2011 [1] v časti FCL.010 a zahŕňa nasledovné pojmy:

a) „**Letový simulátor** (FFS – Full Flight Simulator) znamená presnú kópiu pilotnej kabíny konkrétneho typu alebo značky, modelu a série lietadla vrátane úplnej zostavy zariadení a počítačových programov potrebných na znázornenie lietadla pri činnosti na zemi a počas letu, vizuálny systém poskytujúci výhľad z pilotnej kabíny a systém simulujúci pôsobenie síl pri pohybe.“

Tento typ výcvikového zariadenia je najsofistikovanejší a musí spĺňať najprísnejšie kvalifikačné a validačné testy. Podľa Dodatku 9 vyššie uvedeného Nariadenia vieme, že FFS môže byť využívaný v praktickom výcviku, ale ako jediný typ aj pri praktických skúškach, preskúšaníach odbornej spôsobilosti pre kvalifikačné kategórie na triedu, či typovej kvalifikačnej kategórie (MPL – Multi Pilot License a ATPL – Airline Transport Pilot Licence).

Letové simulátory sa následne ešte ďalej rozdeľujú na jednotlivé úrovne (levels) podľa počtu osí, v ktorých sa pohybový systém

dokáže pohybovať, či komplexnosti vizuálneho systému. EASA klasifikuje letové simulátory na 4 úrovniach:

- EASA Level A – pohyb v 3 osiach, systém videnia v noci,
- EASA Level B – pohyb v 3 osiach, systém videnia v noci, simulácia prostredia ATC,
- EASA Level C – pohyb v 6 osiach, systém videnia v noci a za súmraku, simulácia prostredia ATC, dynamické zaťažovanie ovládacích prvkov, vyššia vernosť,
- EASA Level D – pohyb v 6 osiach, systém videnia cez deň, za súmraku a v noci, simulácia prostredia ATC, dynamické zaťažovanie ovládacích prvkov, najvyššia vernosť [2].

b) *„Letové výcvikové zariadenie (FTD – Flight Training Device) znamená presnú kópiu prístrojov, vybavenia, panelov a ovládacích prvkov riadenia konkrétneho typu lietadla v otvorenej alebo uzavretej pilotnej kabíne lietadla vrátane zostavy vybavenia a počítačových programov potrebných na znázornenie lietadla v podmienkach na zemi a počas letu v rozsahu systémov inštalovaných v zariadení. Nevyžaduje si systém simulujúci pôsobenie síl pri pohybe alebo vizuálny systém.“*

V dôsledku toho, že sa pri tomto type nevyžaduje systém simulujúci pôsobenie síl pri pohybe a vizuálny systém, sú možnosti tohto typu obmedzenejšie.

Rozdeľovanie do úrovni podľa EASA má 3 úrovne:

- EASA FTD Level 1,
- EASA FTD Level 2,
- EASA FTD Level 3 – len vrtuľníky [2].

c) *„Trenažér letových a navigačných postupov (FNPT – Flight and Navigation Procedures Trainer) znamená výcvikové zariadenie, ktoré predstavuje prostredie pilotnej kabíny alebo pilotného priestoru vrátane zostavy vybavenia a počítačových programov potrebných na znázornenie lietadla určitého typu alebo triedy v letových podmienkach v rozsahu zodpovedajúcom tomu, ako systémy fungujú v lietadle.“*

EASA klasifikuje FNPT opäť do 3 úrovni:

- EASA FNPT Level I,
- EASA FNPT Level II,
- EASA MCC – MCC (Multi Crew Cooperation) je trenažér letových a navigačných postupov, ktorý je povolené používať pri výcviku súčinnosti viacčlennej posádky [2].

d) *„Základné prístrojové výcvikové zariadenie (BITD – Basic Instrument Training Device) znamená pozemné výcvikové zariadenie, ktoré predstavuje stanovište žiaka – pilota triedy letúnov. Môžu využívať prístrojové panely zobrazené na obrazovkách a pružinové riadenie, čo predstavuje základ prinajmenšom pre nácvik postupov letu podľa prístrojov.“*

EASA má len jednu úroveň klasifikácie tohto typu [2].

e) *„Iné výcvikové zariadenia (OTD – Other Training Devices) sú výcvikové prostriedky iné, ako sú letové simulátory,*

letové výcvikové zariadenia alebo trenažéry letových a navigačných postupov, ktoré sú prostriedkami výcviku tam, kde nie je nevyhnutné úplné prostredie pilotnej kabíny.“

Najčastejšími sú: CBT (Computer Based Trainer), PTT (Part Task Trainer) [3], CPT (Cockpit Procedures Trainer) [4], a ďalšie.

2.1. Započítavanie pozemného prístrojového času

Na to, aby letecké školy či výcvikové zariadenia (training facilities) dokázali zhodnotiť prínos zaobstarania výcvikového zariadenia na simuláciu letu akejkoľvek kategórie, musia poznať koľko hodín pozemného prístrojového času je dovolené započítavať pilotovi – žiakovi, v rámci jednotlivých pilotných kurzoch do celkového času potrebného na absolvovanie daného letového výcviku.

Nariadenie Komisie (EÚ) č. 1178/2011 ustanovuje jednotlivé požiadavky pre započítavanie prístrojového pozemného času. *„Pozemný prístrojový čas znamená časový úsek, v ktorom pilot dostáva pokyny počas simulovaného letu podľa prístrojov s použitím FSTD.“* Ak by sme sa zamerali výlučne len na preukazy spôsobilosti pilotov letúnov (pozn. označované prídavkom „(A)“ za označením preukazu spôsobilosti – napr. PPL (A)), musíme si spomenúť minimálne nasledujúce body:

1. Časť FCL, podčasť C, oddiel 2 v bode FCL.210.A *„PPL(A) – Požiadavky na prax a započítavanie“* v odseku a) vraví: *„Žiadatelia o preukaz PPL(A) absolvujú najmenej 45 hodín letového výcviku na letúnoch alebo na TMG, z toho 5 hodín môžu vykonať vo výcvikovom zariadení na simuláciu letu (FSTD)...“*,
2. Časť FCL, podčasť F, oddiel 2, v bode FCL.510.A *„ATPL(A) – Nevyhnutné predpoklady, požiadavky na prax a započítavanie“* v odseku b) ktorý znie: *„Prax. Žiadatelia o ATPL(A) absolvujú najmenej 1 500 hodín letu v letúnoch, z toho najmenej:“* a v jeho bode 4. sa dozvedáme, že: *„75 hodín prístrojového času, z čoho najviac 30 hodín môže tvoriť pozemný prístrojový čas.“* Ďalším citovaním odseku b) tiež zisťujeme, že: *„Z 1 500 hodín času letu až 100 hodín sa môže absolvovať v letovom simulátore (FFS) alebo v trenažéri letových a navigačných postupov (FNPT). Z týchto 100 hodín sa v FNPT môže absolvovať najviac 25 hodín.“*

3. Súčasné riešenia spätoväzobných systémov vo výcvikových zariadeniach

Určenie najvhodnejšieho riešenia pre akúkoľvek aplikáciu vieme najlepšie vyjadriť porovnaním výhod a nevýhod dostupných možností. Výhody sa snažíme čo možno najlepšie využiť, a nevýhody čo najúčinnejšie eliminovať, respektíve kompenzovať. Na základe tohto porovnania vieme následne jednoduchšie určiť oblasti použitia daného riešenia, jeho časti či osobitnej súčiastky [5].

3.1. Mechanické riešenia

Mechanické systémy vytvárania síl spätnej väzby využívajú čisto mechanické väzby na zabezpečenie odporu a spätnej väzby pre prvky riadenia letu. Niektoré riadidlá a riadiace páky využívajú mechanické spojenia na vytváranie odporu, čím dávajú pilotovi pocit síl v riadení bez potreby elektronických alebo hydraulických komponentov. Riešenia, ktoré nevyužívajú

automatické zaťažovanie ovládacích prvkov nazývame pasívne riešenia [6].

Jedným z najjednoduchších riešení je použitie pružinových mechanizmov na simuláciu riadiacich síl. Pružiny môžu poskytovať odporové a centrovacie sily, čo umožňuje realistejší pocit pri ovládaní [6]. Podobným riešením na vytvorenie napätia a odporu v riadiacich mechanizmoch môže byť použitie gumených lán. Takéto systémy využívajú gumené láná na simuláciu síl poskytnutím centrovacej sily a odporu okolo neutrálnej polohy daného ovládacieho prvku.

3.2. Pneumatické systémy

Riešenie späťvazobného systému s použitím pneumatického pohonu využíva tlakový vzduch na prenos energie a riadenie mechanických pohybov. Základným komponentom týchto systémov je kompresor, ktorý stláča vzduch na prevádzkový tlak [7]. Tento stlačený vzduch, koncentrovaný v zásobníku, sa následne využíva na pohyb akčných mechanizmov, akými sú napríklad pneumatické valce, ktoré môžu vytvárať lineárny či rotačný pohyb [8].

Medzi základné výhody pneumatického systému môžeme zaradiť jeho vysokú rýchlosť vykonávania operácií. Pri lineárnych pneumatických motoroch je až 8x vyššia, a pri rotačných pohyboch sú úlohy vykonávané až s 20x vyššími otáčkami ako pri hydraulických či elektrických mechanizmoch. Oproti hydraulickým a elektrickým systémom sú z pohľadu mechaniky a elektroniky jednoduchšími systémami, keďže obsahujú menej citlivých elektrických súčiastok, čo ich údržbovo nenáročnejšími. Vďaka možnosti automatizácie a logických pracovných funkcií je možné pneumatický systém relatívne jednoducho upravovať zmenou tlaku vzduchu. Ďalšími výhodami sú tiež bezpečnosť a necitlivosť na zmeny teploty. Stlačený vzduch je nehorľavá kvapalina a predstavuje menšie riziká ako napríklad hydraulické kvapaliny. Z hľadiska rentability sú tieto systémy často lacnejšie na inštaláciu a údržbu vďaka jednoduchej a technologicky nenáročnej výrobe prvkov pneumatických systémov, ktoré nevyžadujú zvláštne pevnostné požiadavky na materiál a jeho opracovanie (hliník, plasty, keramika). Pri použití elektrických vzduchových čerpadiel môže byť prevádzka takéhoto systému tiež relatívne tichá [5, 9].

Oproti elektrickým, či hydraulickým systémom je pneumatický systém pri použití na vytváranie späťnej väzby menej presný. Najmä pri premenlivom zaťažení spôsobuje stlačiteľnosť vzduchu malú tuhosť systému. Vyvíjané sily môžu vykazovať nelineárne charakteristiky, čo sťažuje presné prispôsobenie späťvazobných síl požadovaným simulovaným podmienkam. Bez použitia špeciálnych prvkov môže byť presnosť zastavenia v ľubovoľnej polohe takmer nedosiahnuteľná. V kombinácii s elektrickým systémom vieme túto nevýhodu podstatne eliminovať. Aj napriek celkovo nižšej údržbovej náročnosti je systém náchylný na čistotu vzduchu. Tlakový vzduch musíme upravovať aby sme odstránili mechanické nečistoty, vlhkosť a vodu. Rovnako ako pri hydraulických systémoch je potrebné pravidelne sledovať, či sa v systéme neobjavujú úniky. Vieme ich spozorovať jednoduchou diagnostikou manometrom či počutelným únikom aj bez meracích prístrojov. Okrem toho sú v porovnaní s inými metódami ovládania menej energeticky účinné [5, 9].

3.3. Elektrické systémy

Pri konštrukcii späťvazobného systému pre výcvikové zariadenia na simuláciu letu sa na riadenie pohybu riadičiel alebo riadiaceho páky najčastejšie používajú elektrické systémy. Elektromotory sú základnými komponentami, ktoré v systéme generujú späťvazobné sily. Pri ich výbere by sme mali zväžiť požiadavky na krútiaci moment, rozsah pohybu, respektíve špecifikácie celkovej konštrukcie výcvikového zariadenia.

Elektrické systémy ponúkajú precízne ovládanie požadovanej polohy a vytvorenej sily, ktoré môže byť vytvárané opakovane bez straty presnosti. Elektromotory dokážu rýchlo reagovať na zmenu vstupných údajov, čo zlepšuje citlivosť a dynamiku systému. Vyššia úroveň ovládania umožňuje prekonfigurovať systém tak, aby zvládol rôzne zaťaženia, ktoré si vyžadujú rôzne sily, krútiace momenty a polohy. Jednoduché upravovanie úrovne späťnej väzby na simulovanie rôznych letových podmienok nám vytvára viac imerzných prostredí. Z pohľadu údržby ide o systémy bez rizík únikov kvapalín. Preto sú vhodné do prostredí, kde je potrebné dbať na čistotu a minimalizovanie kontaminácie [10].

Nevýhodou týchto systémov môže byť najmä to, že pri rovnakých rozmeroch elektrické akčné mechanizmy vytvárajú menší krútiaci moment ako napríklad hydraulické systémy. Pri neustálej prevádzke môžu vyvíjať extenzívne teplo, čím môže dochádzať k prehrievaniu, prípadne preťaženiu. Neustála prevádzka a generovanie tepla môžu mať za následok vyššie požiadavky na výkon oproti iným systémom, čo môže zvyšovať prevádzkové náklady. Zložitosť zapájania je vyššia ako u iných systémov. Okrem toho nie sú elektrické systémy vhodné do každého prostredia, a existujú riziká výbuchu či požiaru [5, 10].

3.4. Hydraulické systémy

Tieto systémy využívajú hydraulický tlak na generovanie realistických síl a ponúkajú vysokú úroveň vernosti pri simulovaní pocitov skutočného lietadla. Hlavným komponentom tohto systému sú hydraulické akčné mechanizmy.

Hydraulické akčné mechanizmy sa skladajú z hydraulického valca, čerpadla, zásobníka kvapaliny a samotnej tlakovej kvapaliny. Môžu vytvárať mechanickú prácu v podobe lineárneho alebo rotačného pohybu. Tieto akčné mechanizmy fungujú predovšetkým na základe toho, že tlak pôsobiaci na uzavretú kvapalinu sa prenáša do celej kvapaliny rovnako vo všetkých smeroch [9].

Ďalšími komponentami v systéme sú: jednotka napájania, výmenník tepla, riadiace prvky či hydraulické vedenia. Riadiace prvky ďalej rozdeľujeme na rozvádzače, prvky na riadenie tlaku (tlakové a redukčné ventily) a prvky na obmedzenie a riadenie prietoku (uzatváracie, jednosmerné a škrtiace ventily) [8].

Hlavnými výhodami takéhoto riešenia je možnosť vytvárania vysokých síl a krútiacich momentov pri relatívne kompaktnom dizajne. To z nich robí najlepšiu voľbu pre použitie v zariadeniach pracujúcich pod vysokým zaťažením. Hydraulické akčné mechanizmy dokážu vyvinúť 25-krát väčšiu silu ako pneumatické akčné mechanizmy rovnakej veľkosti. Dynamika kvapalín tiež umožňuje plynulejší pohyb v porovnaní s inými systémami, čo môže byť v špecifických podmienkach rozhodujúce pre použitie tohto systému. Nestlačiteľnosť hydraulickej kvapaliny umožňuje

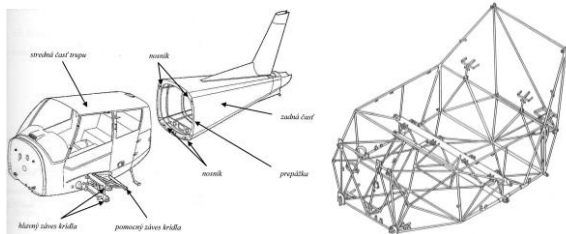
udržiavanie potrebnej sily a krútiaceho momentu bez čerpadla. Rovnako ako elektrické systémy aj systémy s hydraulickými komponentami môžu poskytovať vysokú presnosť [5, 9, 10].

Niektoré problémy, ktoré treba spomenúť, sú potenciálne úniky kvapaliny - požiadavka pravidelnej údržby na monitorovanie hladiny kvapaliny či tesnení. Olej používaný v hydraulických systémoch môže predstavovať nebezpečenstvo požiaru, preto je tento typ systému nevhodný pre niektoré priemyselné aplikácie. Samotná integrácia veľkého počtu hydraulických komponentov si vyžaduje starostlivý dizajn a ďalšie zohľadnenie dynamiky kvapaliny a tesnení [9, 10].

4. Návrh späťvazobného systému riadenia

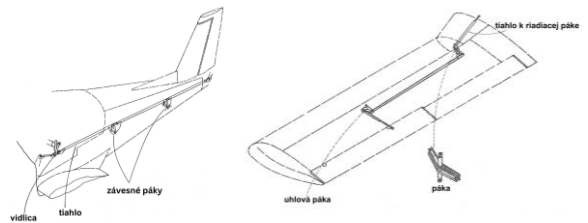
Cieľom bakalárskej práce, z ktorej vychádza tento článok bolo vybrať najvhodnejšie riešenie späťvazobného systému pre výcvikové zariadenie na simuláciu letu a následný návrh uloženia. Ako platformu na integrovanie sme si z dôvodov predchádzajúceho prevádzkovania tohto typu na Katedre, a rovnako existujúcich simulačných dát v simulačnom prostredí Laminar Research X-Plane 12, vybrali kokpit cvičného lietadla Zlín Z-142.

Zlín Z-142 je dvojmiestne športové, výcvikové a akrobačné jednomotorové lietadlo celokovovej konštrukcie s krídlom s negatívnou šípovitosťou. Ide o modernizovanú verziu Z-42M s radovým leteckým motorom M337 AK. Trup lietadla je zmiešanej konštrukcie a delí sa na prednú, strednú a zadnú časť. Stredná časť, ktorá je zároveň aj nosnou časťou, je prútovej konštrukcie. Je zváraná z oceľových trubiek a pokrytá sklolaminátovou karosériou. Konštrukcia zadnej časti je z nosníkovej polokrupiny [11, 12, 13].



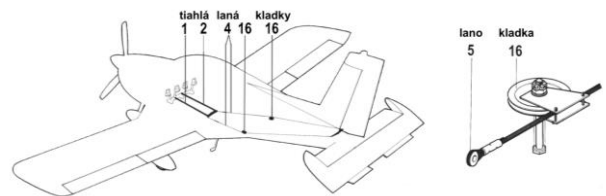
Obrázok 1. Časti trupovej konštrukcie, [11, 12]

Riadenie letúna Z-142 je priame a zdvojené. Obsahuje riadenie krídeliek a výškového kormidla ovládané riadiacou pákou. Ovládanie krídeliek a výškového kormidla je realizované systémom tiahel a uhlových a závesných pák. Výškové kormidlo nie je staticky vyvážené [11, 13].



Obrázok 2. Riadenie výškového kormidla (vľavo) a krídeliek (vpravo), [14 - upravené autorom]

Riadenie smerového kormidla a predného kolesa pomocou brzd je pedálové, nožné. Ovládanie smerového kormidla je zabezpečené zmiešané tiahkami a oceľovými lanami. Od pedálov po medzipáku pomocou tiahel, a následne od medzipáky ku smerovému kormidlu pomocou lán [11].



Obrázok 3. Riadenie smerového kormidla, [14 - upravené autorom]

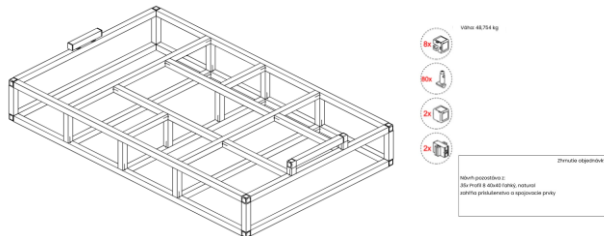
Kostru lietadla, ktoré je plánované použiť na skonštruovanie výcvikového zariadenia, a do ktorej budeme implementovať samotný návrh späťvazobného systému pre prvky primárneho riadenia pochádza z lietadla Zlín Z-142 s pôvodnou registračnou značkou OM-PNU. V prvej fáze projektu sme na základe meraní a fotografií vytvorili digitálnu kópiu strednej časti trupu lietadla, cez ktorú prechádzajú všetky ovládacie mechanizmy. Cieľom bolo spoznať dimenzionálne parametre, ktoré výrobca v žiadnej verejne prístupnej dokumentácii neuvádza. V katalógu častí, ktorý sme používali na pochopenie umiestnení všetkých komponentov, sú jednotlivé systémy a sústavy len rozkreslené, nie však okótované. Na základe týchto meraní, a požiadavke nerozširovať samotné výcvikové zariadenie v priečnej osi sme dospeli k záveru vytvoriť podstavu pod kostru, ktorá bude primárne poskytovať priestor na uloženie komponentov späťvazobného systému.

4.1. Konštrukcia podstavy

Rám podstavy je obdĺžnikového tvaru so šírkou 1200 mm, dĺžkou 2023,512 mm, ktoré zodpovedajú dimenziám samotnej strednej nosnej časti trupu lietadla. Výšku podstavy sme si zadali 200 mm. Návrh podstavy predpokladá pri konštrukcii použitie stavebnicových systémov hliníkových profilov.

Základnými prvkami týchto systémov sú eloxované hliníkové profily, v ktorých sú pozdĺžne drážky a otvory slúžiace k upevneniu spojovacích prvkov, či iného príslušenstva. Povrch profilov je odolný proti poškrabaniu a korózii. Konceptia systému umožňuje vytvorenie ľahšej konštrukcie, ktorá poskytuje vysokú pevnosť a presnosť, jednoduchú montáž a demontáž s čím je spojená aj vysoká variabilita. V neposlednom rade ponúka takýto systém možnosť opakovaného použitia prvkov, čím vieme optimalizovať náklady [15].

Jednou z firiem, ktorá má vo svojej ponuke vyššie uvedený systém hliníkových profilov je Haberkorn. Firma je partnerom nemeckej spoločnosti item Industrietechnik GmbH [16]. S pomocou inžinierskeho nástroja [17] tejto spoločnosti sme vytvorili návrh konštrukcie obsahujúci aj zoznam jednotlivých častí pre jej zostavenie.



Obrázok 4. Konštrukcia podstavy

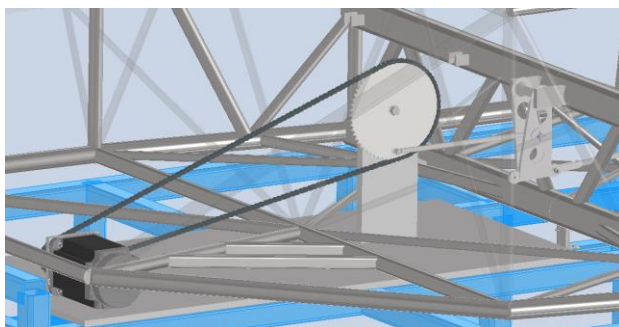
Návrh podstavy pozostáva z 35 profilov so štvorcovým prierezom 40 x 40 mm a drážkou 8 mm. Celá konštrukcia má odhadovanú váhu menej ako 50 kilogramov, a ďalej obsahuje 80 automatických spojov, 2 paralelné spoje, 2 spojovacie 2D kocky a 8 spojovacích 3D kociek.

4.2. Spätovazobný systém riadenia výškového kormidla

Z dôvodu priestorových obmedzení, zachovania čo najväčšieho počtu pôvodne osadených komponentov a jednoduchého prístupu k prvkom systému pri následnej údržbe bude náš návrh uložený až za hlavným nosníkom, a bude sa spájať pomocou tiahla s vidlicovou pákou upevnenou k hornej pásnici hlavného nosníka.

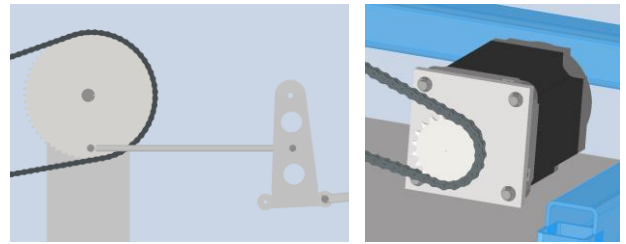
Návrh spočíva v osadení dvojice ozubených kolies spojených reťazou poháňanými elektromotorom uloženým v zadnej časti podstavy. Väčšie ozubené koleso je upevnené v rovnakej výške ako je uchytená aj vidlicová páka k hlavnému nosníku. Tiahlo je následne spojené v polovici vidlicovej páky s ozubeným kolesom.

Menšie ozubené koleso je osadené na hriadeli elektromotora. Elektromotor je upevnený k dodatočnej podlahe podstavy.



Obrázok 5. Návrh riadenia výškového kormidla

Použitý model servomotora pochádza z knižnice GrabCAD od autora Гонтар Петро [18].



Obrázok 6. Detail uloženia (výškové kormidlo)

4.3. Spätovazobný systém riadenia krídelok

Konštrukcia prenosových prvkov riadenia krídelok je inšpirovaná riešením LaserWing miniFFB [19]. Vytváranie spätnej väzby je zabezpečované elektromotorom, ktorý je s prvkami riadiacej páky spojený dvojicou ojnicných ôk a trojuholníkovou pákou. Ojnicné oká sú na seba kolmé, a majú guľové kĺby. Guľové kĺby umožnia riadiacej páke posúvanie do strán a zabezpečovanie klonivého pohybu, aj pri vychýleniach v rovine klopenia.



Obrázok 7. Detail uloženia (krídelká)

Použitý model servomotora pochádza z knižnice GrabCAD od autora @Aaron Ong [20]. Model ojnicného oka s guľovým kĺbom sme prebrali od autora @jimmi henry [21].

5. Záver

Cieľom bolo vybrať vhodné riešenie systému, ktorý by následne mohol byť použitý v projekte výcvikového zariadenia na simuláciu letu. Úlohou bolo tiež vytvorenie vlastného technického prevedenia takéhoto systému.

Z analýzy výhod a nevýhod možných použiteľných systémov vidíme, že najvhodnejším riešením pre našu aplikáciu je použitie elektrického systému. Prednosťami tohto systému je hlavne jeho vysoká efektívnosť, možnosť presného polohovania komponentov systému, či jednoduchá montáž a vysoká vernosť.

Návrh systému je implementovaný do prútovej konštrukcie strednej časti trupu lietadla Z-142. Riadenie výškového kormidla, ktoré bolo pôvodne zabezpečované systémom tiahliel a závesných pák je v našom návrhu nahradené elektromechanickým systémom. Ten sa skladá z dvojice ozubených kolies, reťazového prevodu a servomotora uloženého v zadnej časti konštrukcie. Pre potrebu umiestňovania komponentov bola v inžinierskom nástroji spoločnosti item Industrietechnik GmbH vytvorená podstava zo systému hliníkových profilov, na ktorú môže byť v budúcnosti umiestnená časť trupu a komponenty spätovazobného systému. Návrh ovládania krídelok je umiestnený v tesnej blízkosti

pôvodnej riadiacej páky. Tvorí ho elektromotor, dvojica ojníčnych ôk s guľovými kĺbmi a trojuholníková páka. Toto usporiadanie je inšpirované *open source* riešením LaserWing miniFFB.

Pod'akovanie

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

Referencie

- [1] *Nariadenie Komisie (EÚ) č. 1178/2011*. 30.10.2022. Konsolidovaná verzia.
- [2] AST-Simulators. *Simulator Levels Explained*. Online. Dostupné z: [https://www.ast-simulators.com.au/start-here/simulator-levels-explained#:~:text=Advanced%20Aviation%20Training%20Devices%20\(AATD,than%20FFS's%20and%20FTD%20FFNP T's](https://www.ast-simulators.com.au/start-here/simulator-levels-explained#:~:text=Advanced%20Aviation%20Training%20Devices%20(AATD,than%20FFS's%20and%20FTD%20FFNP T's). [cit. 2024-04-04].
- [3] *Teaching and Testing in Flight Simulation Training Devices (FSTD)*. Online. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/22636/en>. [cit. 2024-04-04].
- [4] *Cockpit procedure trainers*. Online. Dostupné z: <https://www.flightvectors.com/Products/OTD/>. [cit. 2024-04-04].
- [5] Šupák, Marian a Almášiová, Jitka. *Pneumatické mechanizmy*. Bratislava, 2012. ISBN 978-80-8052-427-2.
- [6] Powell, John Michael. *Building Recreational Flight Simulators*. Mike's Flight Deck Books™, 2009. Dostupné z: <https://www.mikesflightdeck.com/downloads/BRFs%20S ample.pdf>.
- [7] **ABBrobotika**. *Pneumatický systém*. Online. Dostupné z: <https://abbrobotika.sk/slovník/pneumaticky-system/>. [cit. 2024-04-10].
- [8] **Stredná priemyselná škola technická**. *Mechatronika*. Online, PDF. Spišská Nová Ves. s. 61-76 Dostupné z: <https://cloud-c.edupage.org/cloud/mechatronika.pdf?z%3ArPs229i%2 BMBJ85AMJXya7NJOP2Q6iMzQi59tkLqsO5eMgOckPtFRw A%2FyIUobxMtR>. [cit. 2024-04-10].
- [9] *Electro-Mechanical vs. Hydraulic and Pneumatic Actuators*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.ultralibrarian.com/2023/11/17/electro-mechanical-vs-hydraulic-and-pneumatic-actuators-ulg>. [cit. 2024-04-10].
- [10] *What's the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators?* Online. Dostupné z: <https://www.pioneerindustrial.com/whats-the-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators/>. [cit. 2024-04-10].
- [11] **Bracíník, Tomáš a Vojtěch Schwarzmann**. *Materiálna časť ZLIN Z-43, 42, 142*. Žilina: EDIS, 2012. ISBN 9788055405971
- [12] *Zlín Z-142*. Online. Dostupné z: <https://www.muzeum-kunovice.cz/zlin-z-142/>. [cit. 2024-04-17].
- [13] *Zlín Z-142*. Online. Dostupné z: <https://www.orlita.net/z142/>. [cit. 2024-04-17].
- [14] **ZLIN Aircraft a.s.** *Katalog náhradných diel letounu Z-142*. Zlín. č. dok. Z002.040. 2010.
- [15] *Materiál a príslušenstvo (MB)*. Online. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/sk/sk/material-a-prislusenstvo/>. [cit. 2024-04-18].
- [16] *Hliníkové profily item*. Online. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/sk/sk/hlinikove-profil-y-item/>. [cit. 2024-04-18].
- [17] **item**. *item Engineeringtool*. Online. Dostupné z: <https://item.engineering/CZcs/tools/engineeringtool/>. [cit. 2024-04-18].
- [18] *DC servomotor* [@Гонтар Петро]. Online. 2023. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/dc-servomotor-2>. [cit. 2024-04-23].
- [19] *LaserWing-MiniFFB Images*. Online. Dostupné z: <https://github.com/LaserWing/LaserWing-MiniFFB/tree/main/Images>. [cit. 2024-04-12].
- [20] *Emax ECO Micro 1404 2~4S 6000KV CW Brushless Motor* [@Aaron Ong]. Online. 2024. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/emax-eco-micro-1404-2-4s-6000kv-cw-brushless-motor-1>. [cit. 2024-04-23].
- [21] *Ball Joint 3mm, 2.5mm, 2mm* [@jimmi henry]. Online. 2022. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/ball-joint-3mm-2-5mm-2mm-1>. [cit. 2024-04-23].



WINDSHEAR A JEHO VPLYV NA LETECKÚ DOPRAVU

Martin Voštinár
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Miriám Jarošová
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou strihu vetra v civilnom letectve s cieľom poskytnúť komplexný pohľad na jeho vplyv na bezpečnosť a efektívnosť leteckej dopravy. V práci sa analyzujú faktory ovplyvňujúce strih vetra, jeho vznik a dynamiku v rôznych letových podmienkach. Ďalej sa skúmajú metódy a nástroje používané na analýzu a predpoveď strihu vetra, ako aj ich presnosť a účinnosť. Práca sa tiež zameriava na praktické dôsledky strihu vetra pre letové operácie, vrátane jeho vplyvu na bezpečnosť letu. Na základe zhromaždených poznatkov sa diskutuje možné opatrenia a stratégie na zlepšenie riadenia strihu vetra v civilnom letectve. Výsledky tejto práce majú potenciál prispieť k lepšiemu porozumeniu a riadeniu tohto dôležitého meteorologického javu pre zabezpečenie bezpečnej a efektívnej leteckej dopravy.

Keywords

strih vetra, bezpečnosť, meranie, let

1. Úvod

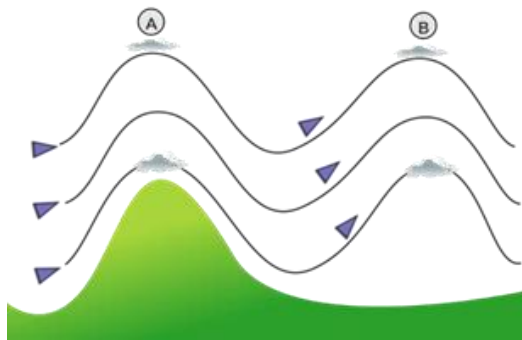
Obsahom tejto bakalárskej práce je podrobne sa zaoberať problematikou vplyvu strihu vetra na civilné letectvo rozobratím témy najprv na teoretickej úrovni, kde je popísaná charakteristika samotného javu a jeho druhy, po ktorých nasleduje popis meteorologických podmienok na vznik strihu vetra. V ďalšej kapitole je pozornosť venovaná popisu merania a zapisovania do leteckej meteorologickej informácie METAR a taktiež predpoveď a hlásenie o strihu vetra. Pri týchto informáciách je nevyhnutné spomenúť samotné vplyvy strihu vetra na let a výkonnosť letúna najmä v kritických fázach ako vzlet, odlet, priblíženie a pristátie. Na záver budú spomenuté nehody a incidenty, ktoré boli obeťou strihu vetra vo forme microburstu. Takto pomenovaný jav bol podľa štatistík a výskumov NCAR považovaný za bezprostredné nebezpečenstvo, ktoré od roku 1943 spôsobilo celosvetovo bežne 1400 úmrtí. Tento prieskum prišiel na to, že lokálny jav, ktorý spôsobil majoritnú časť všetkých nehôd a incidentov nazývaný ako microburst je najnebezpečnejším typom strihu vetra.

2. Charakteristika a meteorologické podmienky na vznik strihu vetra

Windshear je definovaný ako prudká zmena rýchlosti a/alebo smeru vetra či už po horizontálnej alebo vertikálnej rovine. Avšak, strih vetra je v praktickej rovine braný všeobecne za jav, ktorý v konečnom výsledku spôsobí zmenu energie lietadla, kde naruší jeho trajektóriu a spôsobuje turbulenciu. Popisovaný fenomén je doposiaľ stále považovaný za veľmi komplexný jav a nie je plne vyskúmaný. Aj napriek tomu, že strih vetra môže vzniknúť z meteorologického hľadiska v prakticky akýchkoľvek výškach, v ktorých sú prevádzkované dopravné lietadlá, budeme sa najviac z pohľadu bezpečnosti zaujímať o strih vetra v malých výškach. V tejto kapitole je uvedená definícia strihu vetra, ktorá predstavuje zmenu rýchlosti a/alebo smeru prúdenia vzduchu. Tieto zmeny rozdeľujeme na horizontálny a vertikálny strih vetru podľa roviny, okolo ktorej je daná zmena orientovaná. Strih vetra sa dokáže vyskytnúť a vytvoriť v odlišných podmienkach. Tieto podmienky môžu byť napríklad v búrčkovej oblačnosti, vo

frontálnych systémoch, morkých prúdeniach, teplotných inverziách alebo strih vetra spôsobený z fyzických prekážok na zemi alebo terénu. Strih vetra v búrčkovej oblačnosti vzniká a spočíva na základe vzostupného prúdenia vzduchu z nasávajúceho vzduchu pred búrčkou, kde vzduchová hmota v oblačnosti s nižšou teplotou má naopak zostupný pohyb. Tento pohyb vytvára jav, ktorý nazývame z Angl. downburst a pre letectvo je z pohľadu bezpečnosti najkritickejší. Tento downburst ďalej vieme odlíšiť na microburst a microburst, kde kritickejší a nebezpečnejší je práve microburst, kvôli jeho malej horizontálnej rozlohe, ktorá zväčša nebýva väčšia ako 4 kilometre. Avšak, na jeho malú rozlohu má pomerne krátke trvanie a to od 2 do 5 minút. Na výskyt downburstu musí byť búrková oblačnosť dostatočne dobre vyvinutá. Na dobre vyvinutú búrku musia byť splnené podmienky ako napríklad dostatočne nestabilne zvrstvená vzduchová hmota, dostatočná vlhkosť a vonkajšie sily podporujúce výstupný pohyb vzduchu. V prípade tvorby strihu vetra vo frontálnych systémoch sa objavujú oba vertikálne a horizontálne strihy vetru. Vertikálny strih vetra sa zvyčajne objavuje na studenom fronte a za ním, pričom na úrovni zeme môže byť krátkodobý horizontálny strih. Na ich vznik musia taktiež platiť priaznivé podmienky s rozdielnymi teplotami medzi vzduchovými hmotami vo fronte s ich rozdielom aspoň 5 stupňov Celzia a s rýchlosťou prechodu frontu aspoň 30 uzlov, čo predstavuje približne 55 kilometrov za hodinu. Spomínaný krátkodobý horizontálny strih na úrovni zeme ja taktiež spájaný aj so strihom vetra spôsobeným orograficky teda na základe prekážok na zemi. Vysoké budovy, nízke kopce alebo huytý porast stromov môžu na závaterných stranách spôsobiť horizontálny strih vetra spolu s turbulenciou v čistom ovzduší. Účinok a sila tohto strihu vetra bude závisieť na smere prúdenia voči prekážkam a rýchlosti prúdenia. Ďalším druhom strihu vetra môže byť z teplotnej inverzie. Tá vzniká v momente, keď teplota ovzdušia s výškou stúpa a môže teda nastať razantná zmena smeru a/alebo rýchlosti prúdenia. V prípade, že inverzná vrstva prúdi blízko zeme, trenie o zemský povrch môže tento strih práve zosilniť. Taktiež, inverzná vrstva môže kompletne zastaviť horizontálne prúdenie vzduchu, čo môže mať práve výsledok v podobe turbulencie, zmeny indikovanej rýchlosti a aerodynamických vlastností. Posledným

spomenutým druhom strihu vetra je vytvorený vo vlnovom prúdení. Vlnové prúdenie môžeme tiež klasifikovať ako orografické, nakoľko je spôsobené nerovnosťami terénu, kde vzduch je mechanicky smerovaný nahor. Vlnové prúdenie vytvorené na záveternej strane s tvarom sínusoidy tak vytvára strih vetra.



Obrázok 1.

Takisto sila a účinok strihu vetra je ovplyvnená na niekoľkých podmienkach ako rýchlosť prúdenia a úrovni hrebeňa pohoria musí mať najmenej 15 uzlov, teda približne 28 kilometrov za hodinu, smer prúdenia nezviera väčší uhol ako 30 stupňov voči kolmici pohoria bez výraznej zmeny smeru prúdenia s výškou. Po teoretickom rozbere strihu vetra bude ďalej popísané meranie, zapisovanie, predpoveď a hlásenie.

3. Meranie, zapisovanie, predpoveď a hlásenie strihu vetra

Strih vetra predstavuje bezprostrednú hrozbu a hazard to najmä v najkritickejších fázach letu, ktorými sú vzlet a odlet v počiatočnom stúpaní a vo finálnych fázach ako priblíženie a pristátie. Tým pádom nás najviac zaujíma meranie strihu vetra v letiskovej oblasti. Od objavu vplyvu strihu vetra na charakteristiku letu začiatkom osemdesiatych rokov minulého storočia boli vyvinuté rôzne systémy, ktoré pilotom pomáhajú rozpoznať tieto udalosti a podniknúť príslušné kroky, rozhodnutia a manévry. Nakoľko informovanosť a ostražitosť letových posádok sú kľúčovými faktormi k bezpečnej prevádzke v letectve. Existuje niekoľko spôsobov detekcie strihu vetra, kde sa budeme zaoberať viacerými, avšak, začneme letiskovými vybavením a následne lietadlovým vybavením.

3.1. Letiskové systémy

V dnešnej dobe väčšina letísk, ktoré sú náchylné na výskyt strihu vetra a microburstu disponujú systémom LLWAS – Low Level Windshear Aletring System (Z Ang. – Systém upozorňovania strihu vetra v malých výškach) a TDWR – Terminal Doppler Weather Radar (Z Ang. – Dopplerov radar na počasie v koncových oblastiach). Sú to systémy, ktoré sú schopné detegovať microburst v kritickej oblasti letu ako napríklad okolie osy vzletovo-pristávacej dráhy, pričom TDWR je schopný aj identifikovať taktiež príchod strihu vetra, teda poskytuje predpoveď. Táto funkcia môže byť kriticky dôležitou vo včasnom upozorňovaní letových posádok a riaciach letovej prevádzky v predstihu. LLWAS je pozemný systém, ktorý prišiel do prevádzky behom sedemdesiatych rokov a vyvíja sa do dnešnej doby. Jeho momentálna podoba dosahuje až 90% účinnosť a skladá sa z

jedného centrálného anemometra (snímača smeru a rýchlosti prúdenia vetra) a piatich alebo viacerých anemometrov, ktoré sú periférne a sú umiestnené v okruhu približne dvoch námorných míľ od centrálného snímača. Údaje nasnímané sa priemerujú počas dvojmínútového cyklu a každých 10 sekúnd sa porovnávajú s údajmi z tých periférnych anemometrov. LLWAS disponuje dvoma režimami, kde prvý je výstraha strihu vetra, druhý zas výstraha microburstu. Upozornenie na strih vetra sa vygeneruje vždy, keď rýchlosť prúdenia vetra klesne o 15 až 29 uzlov alebo náhle narastie o viac ako 15 uzlov. Varovný stav microburstu nastane po poklese rýchlosti vetra o viac ako 30 uzlov. Na vzdory rozmiestnenia anemometrov systému LLWAS, systém nemusí byť schopný snímať microburst s rozlohou menšou ako 2 námorné míle. Na druhej strane systém TDWR má schopnosť včasného upozorňovania o možnom strihu vetra, tendencie zmeny smeru prúdenia a takisto schopné zaznamenať zmeny intenzity zrážok. Primárne upozorňuje stredisko riadenia letovej prevádzky a následne je upozornená letová posádka. Radar je špeciálne navrhnutý na prevádzku v prostredí s vysokým rušením, ktoré sa bežne vyskytuje v blízkosti letísk ako napríklad okolité budovy, autá alebo iná interferencia signálom mimo leteckej techniky. Údaje namerané systémom TDWR dokážu byť integrované s údajmi z LLWAS, čo je výsledkom zvýšenej presnosti a účinnosti.

3.2. Lietadlové systémy

Jedným z ďalších druhov detekcie strihu vetrasú samotné radary na počasie umiestnené. Jedným z ďalších druhov detekcie strihu vetra sú samotné radary na počasie umiestnené na palube lietadla. Poskytujú viacero informácií vrátane lokácie a intenzity zrážok a turbulencií, zvrstvenia oblačnosti a taktiež aj detekciu strihu vetra. Toto zariadenie je typicky umiestnené v prednej časti lietadla a informácie sú systematicky a farebne zobrazené na navigačných obrazovkách v pilotnej kabíne. Radar na počasie funguje na princípe vysielaia elektromagnetických vln o frekvenciách od 5,44 GHz až do 9,375 GHz, teda pásmo super krátkych vln. Palubný radar vysiela tieto signály každú mikrosekundu a meria tak intenzitu odrazu, pričom zrážky s väčšou intenzitou budú odrážať signál viac, ako tie slabšie zrážky. Následne sú odrazy systematicky a farebne znázornené na navigačnej obrazovke v pilotnej kabíne. Červená farba predstavuje najintenzívnejšie zrážky po oranžovú so stredne intenzívnymi až po zelenú s najmenej intenzívnymi.



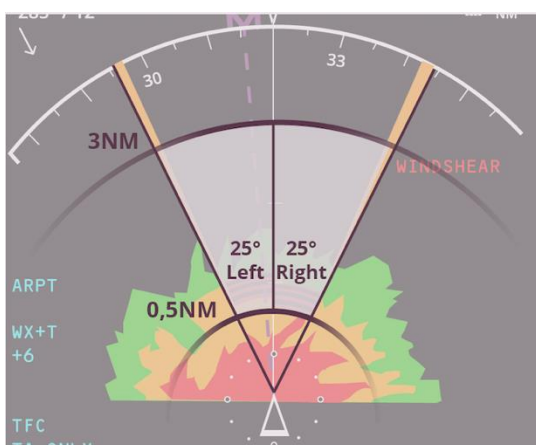
Obrázok 2.

Avšak, pre prípad využitia tohto radaru na detekciu strihu vetra, musí byť radar na počasie vybavený funkciou tzv. systému prediktívneho strihu vetra, teda PWS (Z Ang. – Predictive Windshear System). PWS vyhodnocuje potenciálny strih vetra v blízkosti lietadla na základe pohybu zrážok a vetra. Systém prediktívneho upozorňovania však iba porovnáva aerodynamickými údajmi a inerčnými údajmi. Poskytuje teda len upozornenie o možnom strete so strihom vetra a to primárne v kritických výškach a fázach letu. Systém, ktorý priamo poskytuje manéver na únik zo strihu vetra nazývame reaktívny systém strihu vetra, teda RWS (Z Ang. – Reactive Windshear System). Primárny rozdiel medzi PWS a RWS je ich funkcia, kde PWS navrhuje spôsob ako sa strihu vetra vyhnúť a upozorňuje na potenciálny stret, zatiaľ čo RWS slúži na vedenie únikového manévru.

	RWS	PWS
PURPOSE	- Detect in the wind shear - Guidance to escape	- Detect ahead of the aircraft - Guidance to avoid the event
WARNING	- Aural - Visual	- Aural - Visual
PRINCIPLE	- Comparison between inertial and aerodynamic data	- Doppler weather radar

Obrázok 3.

V rámci varovaní systému PWS a RWS existujú dve úrovne varovania. Výstraha a varovanie (CAUTION a WARNING). Výstraha so zvukovou signalizáciou počas vzletu alebo priblíženia znejúca "MONITOR RADAR DISPLAY!" teda monitoruj obrazovku s radarom je aktivovaná v momente, kedy systém PWS zaznamená možný výskyt strihu vetra vo vzdialenosti od pólu námornej mile až do troch námorných míľ so smerovým rozptylom 25 stupňov do obidvoch strán od pozdĺžnej osi lietadla. V prípade výskytu strihu vetra ešte na zemi pred vzletom je aktivované varovanie znejúce "WINDSHEAR AHEAD!" teda strih vetra je pred vami. Zvuková signalizáciu "WINDSHEAR, WINDSHEAR, WINDSHEAR!" zaznie počas priameho styku so strihom vetra za letu. Letové posádky sú školené na únikové manévry zo strihu vetra, kde je dôležité nemeniť konfiguráciu klapiek a podvozok.



Obrázok 4.

3.3. PIERP -Pilot Report (Hlásenie od pilotov)

Hlásenia od letovej posádky v reálnom čase o výskyte strihu vetra taktiež hrá kľúčovú rolu v celkovej bezpečnosti prevádzky okolo letiska. Tieto hlásenia by mali byť promptné, skrz fakt, že čas hrá kritický úlohu o downburste. Tieto hlásenia by mali vždy obsahovať frázu „pilot report,“ a následne približnú polohu hláseného strihu vetra a jeho intenzitu. Táto intenzita je podľa ICAO stanovená nasledovne:

- Ľahká intenzita : 0 až 4 uzle na 100 stôp (0-2 metre za sekundu na 30 výškových metrov)
- Stredná intenzita : 5-8 uzlov na 100 stôp (2.5 – 4 metre za sekundu na 30 výškových metrov)
- Silná intenzita : 9-12 uzlov na 100 stôp (4.6 – 6 metrov za sekundu na 30 výškových metrov)
- Prudká intenzita : viac ako 12 uzlov na 100 stôp (viac ako 6 metrov za sekundu na 30 výškových metrov)

3.4. Zapisovanie strihu vetra

Meteorologická správa z letiska (METAR), známa aj ako rutinná meteorologická správa z meteorologického terminálu má štandardný formát na hlásenie informácií o aktuálnom počasí. Metar ako taký obsahuje niekoľko skupín informácií, ktoré sú v konkrétnom poradí a to:

- ICAO kód letiska, o ktorom je správa vydaná
- Dátum a čas merania
- Smer a rýchlosť prízemného vetra
- Viditeľnosť
- Dopredná dohľadnosť RVR (ak je nameraná)
- Kód aktuálneho počasia
- Výška základne oblačnosti a pokrytie oblačnosti v osminách
- Teplota a rosný bod
- A prípadný strih vetra

Tento strih vetra je zapisovaný skratkou WS – WindShear. Strih vetra na zapisovanie do správy METAR sa musí nachádzať vo výške aspoň 1600 stôp na eleváciu letiska (t.j. približne 500 metrov na zemou). Zápis tohto javu je uvedený ako na tomto príklade: WS TKOF RWY26 – to po dekódovaní znamená strih vetra nameraný na vzlet v okolí dráhy 26. V prípade, že strih vetra je indikovaný na všetky dráhy, uvádza sa kód WS TKOF ALL WRY.

4. Metodika a metodológia

V časti tejto bakalárskej práce bola použitá metóda analýzy, ktorá predstavuje systematické skúmanie a interpretáciu dát z dostupných študijných materiálov, prevádzkových manuálov, článkov a iných dokumentov.

Na základe týchto zdrojov bolo možné na teoretickej úrovni vyvodiť záver o základoch strihu vetra od jeho samotnej definície, rozsahu poznatkov, možných výskytoch, merania až po jeho vplyv na bezpečnosť, výkonnosť a procedurálneho prevedenia manévrov v kritických fázach letu.

Integráciu týchto teoretických údajov bolo neskôr pomocou metodológie syntézy možné prísť na komplexnejšie pochopenie teoretických dát v konkrétnej udalosti stretu reálneho strihu vetra z prístrojového priblíženia na letisku Las Palmas na Gran Canarií.

5. Výsledky práce a zhodnotenie s dopadom na prax pri lietaní

V dnešnej dobe je strih vetra považovaný za veľmi nebezpečný, a preto výcvikové organizácie, ktoré sa zaoberajú výcvikom na získanie licencie na dopravné lietadlá, zahrnúli do učebného plánu aj tréning unikových manévrov. Strih vetra sa môže vyskytnúť takmer v akúkoľvek výšku, avšak táto práca sa sústreďuje na jeho vplyv počas najkritickejších fáz letu: vzletu, počiatočného stúpania, priblíženia a pristátia. Tieto posledné dve fázy predstavujú najväčší podiel na incidentoch a nehodách spôsobených strihom vetra. Na záver bude diskutovaný konkrétny prípad strihu vetra počas priblíženia na Kanárskych ostrovoch, ktorý zažil autor tejto práce, spolu s ďalšími incidentmi, ktoré slúžia ako príklad tohto nebezpečného fenoménu.

5.1. Strih vetra počas vzletu

Horizontálny a/alebo vertikálny strih vetra pri vzlete má za následok náhlu stratu rýchlosti a/alebo zníženie rýchlosti stúpania s potenciálne katastrofálnymi následkami. Je dôležité, aby sa takéto podmienky rýchlo rozpoznali. Ak sa vyskytnú, je nevyhnutné, aby pilotná reakcia bola okamžitá a správna. Pred samotným manévrom vzletu v podmienkach, kde sa dá podľa všetkých dôveryhodných zdrojov očakávať strih vetra, je veľmi dôležité venovať tomuto potenciálnemu nebezpečenstvu patričnú pozornosť vo forme odletového brífingu. Ten by mal obsahovať zhodnotenie a analyzovanie dostupných informácií, ktorými dokáže letová posádka disponovať ako napríklad informácie z METARu, hlásenia ostatných posádok, alebo z mapy signifikantného počasia. Taktiež by malo byť zahrnuté umné vyberanie dráhy na vzlet s čo najpriaznivejším smerom prúdenia.

Na objasnenie je dôležité udať definície základných rýchlostí na vzlet, ktoré budú uvádzané nižšie.

V1 = je tzv. rýchlosť rozhodnutia, po ktorej v prípade závady alebo núdze vzlet nesmie byť prerušený, z dôvodu nedostatočnej zvyšnej dĺžky dráhy na bezpečné dobrzdenie.

VR = je rýchlosť rotácie, teda pri dosiahnutí tejto rýchlosti je možné lietadlo bezpečne rotovať k odpútaniu od zeme

V2 = táto rýchlosť je bezpečná manévrovací rýchlosť, ktorá by mala byť z pohľadu stability letu udržiavaná až do výšky akcelerácie. Tieto údaje sú v bakalárskej práci vzťahované na fázy vzletu a to strihu vetra pred rýchlosťou VR, pred rýchlosťou V1, a po rýchlosti V1.

5.2. Strih vetra počas priblíženia

V leteckej komerčnej doprave sa bežne používa let podľa prístrojov, ktorý začína od vzletu až po priblíženie a pristátie. Počas priblíženia je lietadlo vedené pomocou prístrojov tak, aby sa udržalo na bezpečnej vzdialenosti od terénu a prekážok. Strih vetra, najmä počas týchto posledných fáz letu, prispieva k mnohým incidentom a nehodám.

V rámci prístrojových priblížení existujú stabilizačné kritériá, ktoré stanovuje prevádzkovateľ lietadla. Tieto kritériá určujú limity pre rôzne letové parametre, ako je rýchlosť, uhol lietadla a odchýlka od optimálnej trate, aby sa zabránilo nebezpečným situáciám v blízkosti zeme. Ak nie je priblíženie stabilizované, piloti sú povinní vykonať manéver Go Around, čo je štandardný postup nezdařeného priblíženia.

Strih vetra počas priblíženia a pristátia môže mať rôzne formy. Pozitívny strih vetra zvyšuje vztlak, čo môže spôsobiť nestabilizované pristátie. Negatívny strih vetra môže zvýšiť rýchlosť lietadla voči zemi a spôsobiť rýchle zvýšenie vertikálnej rýchlosti klesania, čo je rizikové pre pristátie. Náprava tejto situácie je možná, ale prílišná korekcia môže viesť k dlhému pristátiu a nebezpečnému vyrolovaniu z dráhy.

5.3. Pozitívny strih vetra v praxi počas priblíženia na letisku Las Palmas, Gran Canaria

Obsahom a pridanou hodnotou tejto bakalárskej práce je vlastná skúsenosť autora z reálneho incidentu z dňa 28. marca 2024 počas priblíženia na letisku Las Palmas na Gran Canarií. V práci sú použité všetky dostupné materiály na možnú identifikáciu a analýzu potenciálneho strihu vetra na finale dráhy v používaní, teda dráhy 03 Ľavá. V predošlej kapitole analyzovaný, v tom čase aktuálny METAR, GCLP 281730Z 35015KT 9999 FEW045 22/14 Q1011 WS ALL RWY NOSIG, bol použitý ako kľúčový nástroj na analýzu. Následne v práci boli priložené obrázky s orografiou daného ostrova a mapou významného počasia. K týmto mapám je podané vysvetlenie a k mape významného počasia je priložená legenda použitých znakov na lepšiu komprehenciu. Počas klesania k destinácii Las Palmas sme nezaznamenali žiadne komplikácie, ako je neočakávaná turbulencia alebo oblačnosť s námrazou, ako naznačuje mapovanie počasia. Avšak, po dosiahnutí bodu začiatku priblíženia sme zachytili vysielanie od niekoľkých lietadiel, ktoré hlásili problémy s priblížením. Bolo nám oznamované o silnom pozitívnom strihu vetra na finále dráhy 03 Ľavá. Keď sme začali približovanie sa pomocou prístrojového prístávacieho systému ILS, začali sme pripravovať lietadlo na pristátie tým, že sme vysunuli vztlakové klapky a podvozok.

Po získaní povolenia na pristátie sme výrazne pocítili pozitívny strih vetra, čo spôsobilo rapidný nárast rýchlosti a nadmerný vztlak, čo spôsobilo tendenciu lietadla stúpať nad optimálnu trajektóriu priblíženia a zostupovú rovinu. Palubný systém vydal varovanie o strihu vetra. Rozhodli sme sa pre opätovné priblíženie a riadiaci nás navádzal na novú trajektóriu. Druhé priblíženie malo podobný priebeh, ale po ňom sme vykonali brífing o zmene postupu, ktorý zahŕňal lepšiu konfiguráciu lietadla. Po úspešnom pristátí sme podali správu o incidente podľa firemných postupov. Takéto hlásenia sú dôležité pre bezpečnosť letu a informovanosť.

5.4. Incidentsy a nehody spôsobené strihom vetra

V tejto časti bude pozornosť venovaná incidentom a nehodám, ktoré boli spôsobené strihom vetra.

5.4.1. Delta Airlines let DL191

Let DL191 spoločnosti Delta Airlines havaroval 2. augusta 1985 o 18 hodine a 5 minúte lokálneho času na letisku Dallas Fort Worth v Texase počas priblíženia na dráhu 17 ľavá počas preletu cez microburst, ktorý nebol úspešne prekonaný. Lietadlo sa zrútilo približne 1 námornú míľu severne od prahu dráhy 17 na diaľnicu, kde došlo ku stretu lietadla s osobným autom, v ktorom zahynul vodič po tom, ako sa takmer celé lietadlo rozpadlo, okrem zadnej časti lietadla s chvostovou časťou. Z celkového počtu 163 pasažierov na mieste podľahlo zraneniam 134 pasažierov spolu s posádkou. 26 pasažierov a 3 stewardky nehodu prežili. Národná Rada pre Bezpečnosť Dopravy vyhodnotila za najpravdepodobnejšie príčiny tejto havárie nasledovne:

Rozhodnutie letovej posádky prelet a priblíženie cez búrkový oblak Cumulonimbus

Nedostatok informácií o nebezpečenstve, ktoré strih vetra v reálnom čase predstavoval

Nedostatok výcviku pre posádky na únikový manéver zo strihu vetra

Tieto vyvodené možné príčiny viedli ku havárii po strete silného microburstu počas priblíženia a stretu so zemou v malej nadmorskej výške.

5.4.2. ANA All Nippon Airways NH391

Let ANA All Nippon Airways NH391, Airbus A321-131 registrácie JA104A, bol prevádzkovaný ako pravidelný let z Nagoje do Hakodate.

Incident sa odohrával počas priblíženia na dráhu 12 v vtedy aktuálnou správou METAR, ktorá indikovala vietor 130/28kt, teda vietor zo 130 stupňov o rýchlosti 28 uzlov (14 metrov za sekundu), čo značilo mierny vietor z pravej strany, vzhľadom na smer dráhy. Aj napriek tomu, že všetky letové parametre boli v norme, systém PWS Airbusu A321 vyhodnotil aktuálne podmienky ako strih vetra zvukovým a vizuálnym varovaním a tým pádom letová posádka započala únikový manéver zo strihu vetra a manéver nezdareného priblíženia z výšky 53 stôp nad zemou (16 metrov nad zemou). Vzhľadom na malú výšku, z ktorej bol manéver začatý, došlo ku kontaktu chvostovej časti lietadla so zemou, v anglickom jazyku nazývaným ako „tailstrike.“ Po opakovanom priblížení nasledovalo bezpečné pristátie, po ktorom bolo nahlásené zranenie palubného personálu tvrdým pristátím o intenzite 1,9 násobku preťaženia. Lietadlo tak zasiahlo intenzitou silný strih vetra, ktorý viedol k tomuto kontaktu so zemou počas únikového manévru. Neskôr bolo vyšetrovacím úradom zistené, že tento strih vetra spôsobila práve topografická situácia v okolí mesta Hakodate. Táto topografická situácia v praxi znamenala, že letisko sa s vetrom, ktorý fúkal zo 130 stupňov nachádzalo tak v závetří a spolu so silnými nárazmi vetra tvorila turbulentnú vrstvu vzduchu, čo takýmto spôsobom ovplyvnilo let NH391.

6. Záver

Táto bakalárska práca sa zameriava na význam strihu vetra pre bezpečnosť leteckej dopravy. Identifikuje potenciálne problémy a poskytuje účinné nástroje na ich riešenie. Analyzuje situácie, kde sa strih vetra prejavil v praxi, a zdôrazňuje jeho vplyv na bezpečnosť letu. Autor diskutuje o prípade letu All Nippon NH391, ktorý čelil strihu vetra počas priblíženia, a o tom, ako meteorologické podmienky a orografia miesta môžu ovplyvniť tento jav. Vlastná skúsenosť autora ukazuje dôležitosť poznania miestnych podmienok a dodržiavanie bezpečnostných postupov na letisku s podobnými rizikami.

Referencie

- [1] Meteorology, Australian Government Bureau. Hazardous weather phenomena. s.l. : Bureau Meteorology, 2014.J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] Administration, Federal Aviation. Wind Shear. s.l. : FAA, 2008.K. Elissa, "Title of paper if known," unpublished.
- [3] Meteorology, Australian Government Bureau of. Hazardous weather phenomena. s.l. : Bureau of Meteorology, 2024.
- [4] Jean Daney, Xavier Lesceu. [ww.safetyfirst.airbus.com](https://www.safetyfirst.airbus.com/). [Online] [Dátum: 19.. Marec 2024.] <https://safetyfirst.airbus.com/wind-shear-an-invisible-enemy-to-pilots/>.
- [5] elearn.aero. [ww.elearn.aero.com](https://www.elearn.aero.com/). [Online] NETVOR & EasyCore. [Dátum: 24.. Marec 2024.] <https://elearn.aero>.
- [6] FAA. Wind Shear. s.l. : FAA.
- [7] Accidents. Aviation Accidents. [Online] <https://www.aviation-accidents.net/delta-airlines-lockeed-l1011-n-726da-flight-dl191/#>.
- [8] Accidents. Aviation Accidents. [Online] <https://www.aviation-accidents.net/delta-airlines-lockeed-l1011-n-726da-flight-dl191/#>.
- [9] Aviation Accidents. [Online] [Dátum: 7.. Apríl 2024.] <https://www.aviation-accidents.net/ana-all-nippon-airways-airbus-a321-131-ja-104a-flight-nh391/>.