
EDITORIAL BOARD

REDAKČNÁ RADA

Head of the editorial board

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

Editor in chief

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

Members of editorial board

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

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

prof. Dr. Obrad Babic
University of Belgrade,
Serbia

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

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

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

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

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

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

prof. Dr. Johan Wideberg
University of Sevilla,
Spain

Richard Moxon
Cranfield University,
United Kingdom

Dr. Francisco García Benítez
University of Seville,
Spain

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

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

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

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

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

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

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

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

REGISTER

OBSAH

URČENIE A POUŽITIE SYSTÉMOV ADS-B
SPECIFICATION AND USAGE OF ADS-B SYSTEMS

4

Šulc, J., Jůn, F.

ANALÝZA RUŠENIA SIGNÁLU GNSS NA LETISKU POPRAD- TATRY
ANALYSIS OF GNSS SIGNAL INTERFERENCE AT THE AIRPORT – TATRY POPRAD

11

Novák, A., Novák Sedláčková, A., Stelmach, A.

VPLYV PODSVIETENIA PALUBNÝCH PRÍSTROJOV NA PILOTOV
ANALÝZA PROCESOV ÚDRŽBY LIETADIEL

18

Škvareková, I., Brezoňáková, A., Kandra, B.

UPGRADE 3D MODELU HRIČOVSKÉHO HRADU Z REÁLNYMI TEXTÚRAMI
UPGRADE 3D MODEL WITH REAL TEXTURES OF HRIČOV CASTLE

22

Cesnek, T., Decký, M., Pitoňák, M.

VYUŽITIE LASEROVÝCH SKENEROV V HOSPODÁRENÍ S VOZOVKOU
USE OF LASER SCANERS IN THE PAVEMENT MANAGEMENT

27

Decký, M., Ďuriš, L., Kováč, M.

PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA REGIONÁLNEHO LETECKÉHO DOPRAVCU- MESA AIRLINES
CASE STUDY OF REGIONAL AIR CARRIER -MESA AIRLINES

32

Tomová, A. jr., Novák Sedláčková, A.

KORELÁCIA MEDZI LETECKOU DOPRAVOU A EKONOMICKÝM RASTOM V ČÍNE
CORRELATION BETWEEN AIR TRANSPORT AND ECONOMIC GROWTH IN CHINA

36

Szabo, S. jr., Vajdová, I., Jenčová, E., Makó, S., Čičo, M., Horvat, A.

INOVATÍVNY PRÍSTUP K HODNOTENIU SLUŽIEB V BIZNIS LETECTVE INNOVATIVE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE BUSINESS AVIATION SERVICES	41
---	-----------

Hankovská, J., Badánik, B.

DOHLADNOSŤ NA LETISKÁCH SLOVENSKA V JEDNOTLIVÝCH VZDUCHOVÝCH HMOTÁCH VISIBILITY IN AIR MASSES ON SLOVAK AIRPORTS	48
--	-----------

Jarošová, M.

NÁVRH METODIKY VÝCVIKU A UDRŽATEĽNOSTI SCHOPNOSTÍ PILOTÁŽE BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH PROSTRIEDKOV DRAFT OF THE TRAINING METHODOLOGY AND SUSTAINABILITY OF UAV PILOTAGE CAPABILITIES	53
--	-----------

Ažaltovič, V., Škvareková I., Kandra, B.

EFEKTIVITA VÝCVIKU PILOTOV NA DIAĽKU REMOTE PILOT TRAINING EFFECTIVENESS	57
--	-----------

Kandra, B., Škvareková, I., Ažaltovič, V.

URČENIE A POUŽITIE SYSTÉMOV ADS-B

SPECIFICATION AND USAGE OF ADS-B SYSTEMS

Jaroslav Šulc

Vedúci odboru letovej kalibrácie
Dopravný úrad,
Letisko M.R. Štefánika,
823 05, Bratislava
jaroslav.sulc@nsat.sk

František Jún

Letecké výcvikové a vzdelávacie centrum
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
jun@lvvc.uniza.sk

Abstrakt

The paper deals with the Automatic Dependent Surveillance systems which are a part of aeronautical surveillance services. Paper is specifically focused on the currently implemented system ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast). The aim of the paper is to state the reasons for the introduction of ADS-B in the environment of air navigation services, to provide basic information on the technical aspects of dependent surveillance systems, their distribution and to inform the aviation professionals about their strengths and weaknesses. The paper also includes information on the state of implementation of ADS-B systems in Europe and in the world.

Kľúčové slová

ADS, Automatic Dependent Surveillance, ADS-B, Automatic Dependent Surveillance - Broadcast

1. Úvod

Posledné obdobie je charakteristické zavádzaním inovatívnych technológií do praxe a to naprieč celým odvetvím letectva. Dôvodom snaženia o zavádzanie nových technológií je najmä snaha o neustále zvyšovanie bezpečnosti leteckej dopravy. V súbehu s ostro sledovanou bezpečnosťou leteckej dopravy je letecká doprava zároveň aj pod silným ekonomickým tlakom. Konkurencieschopnosť leteckej dopravy je voči iným druhom dopravy porovnávaná svojou bezpečnosťou prepravy, kvalitou prepravy a cenou prepravy.

Jedným so súčastí leteckej dopravy, ktorá ovplyvňuje bezpečnosť, kvalitu a cenu leteckej dopravy je poskytovanie leteckých navigačných služieb ANS (Air Navigation Services) a manažment letovej prevádzky ATM (Air Traffic Management).

Aby mohol poskytovateľ navigačných služieb zabezpečovať ním poskytované služby kvalitne a bezpečne, potom potrebuje prevádzkovať moderné a spoľahlivé navigačné, komunikačné a prehľadové systémy CNS (Communication, Navigation and Surveillance). Od poskytovateľov navigačných služieb je očakávané, že má zavedené také systémy, ktoré zabezpečia potrebnú kapacitu toku leteckej prevádzky tak, aby leteckému dopravcovi nespôsobili časové zdržania alebo zníženie bezpečnosti prevádzky lietadiel.

Na poskytovateľov navigačných služieb je na rôznych úrovniach vyvíjaný tlak na rozširovanie infraštruktúry systémov sledovania s cieľom znižovanie oblastí vzdušných priestorov bez kvalitného alebo žiadneho radarového pokrytia NRA (Non Radar Environment), prípadne na zabezpečenie kvality prehľadových služieb na úroveň zavedených medzinárodných štandardov.

Zlepšenie radarového pokrytia niektorou zo štandardných technológií, najmä v rozľahlom alebo zložitom teréne vyžaduje

od poskytovateľa navigačných služieb vysoké obstarávacie investície a v prípade primárnych PSR (Primary Surveillance Radar) alebo sekundárnych SSR (Secondary Surveillance Radar) radarov aj pomerne vysoké prevádzkové náklady.

V prípade rozľahlého alebo hornatého terénu bez vybudovanej infraštruktúry môže byť ideálnym riešením zabezpečenia prehľadovej služby využitie technológie ADS-B.

Európska stratégia v oblasti systémov leteckej prehľadovej služby preferuje prehľadové systémy, ktoré poskytujú „údaje prehľadového sledovania“ za pomoci dátového spojenia a využitia pridelenej 24-bitovej adresy lietadla (Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) č.1207/2011). Identifikácia lietadla je potom vykonávaná prostredníctvom zostupného spojenia s možnosťou individuálnej identifikácie lietadla. Individuálna identifikácia lietadla je zabezpečená pridelenou ICAO (International Civil Aviation Organization) 24-bitovou adresou, ktorá je jedinečná pre každé konkrétne lietadlo a nesmie byť pridelená opakovane. Aby bolo dátové spojenie prehľadového sledovania možné, pozemné prehľadové systémy musia dotazovať lietadlá v móde S. Dotazovací mód S na rozdiel od starších módov civilných prehľadových radarov (napr. mód 3 A/C) umožňuje dátové – digitálne spojenie radar – lietadlo. Lietadlá dotazované v móde S potom príslušnému sekundárnemu radaru poskytujú odpoveď v rozsahu základných údajov nazvaných **Elementary** alebo rozšírených údajov nazvaných **Enhance**. Rozsah základných a rozšírených údajov zostupného spojenia je definovaný medzinárodným štandardom (ICAO, 2020).

Mód S využívajú aj lietadlové palubné protizrážkových systémy ACAS (Airborne Collision Avoidance System) pre dátovú komunikáciu lietadlo - lietadlo.

Každé lietadlo vybavené palubným protizrážkovým systémom neustále dotazuje svoje okolie s cieľom získať minimálne údaje

o polohe iného lietadla nachádzajúceho sa v okolitom vzdušnom priestore.

Je možné povedať, že v pásme sekundárnych prehľadových radarov prebieha čulá komunikácia. Jednak z pomerne hustej siete pozemných sekundárnych radarov a tiež z komunikácie palubných protizrážkových systémov.

Ukázalo sa, že množstvo dotazov a to najmä z pozemných sekundárnych radarov je nutné regulovať a to z dôvodu, aby lietadlový palubný odpovedač (Transponder) nebol vystavený neprimeraným množstvám týchto dotazov. Špecificky v Európskom vzdušnom priestore, je až na malé výnimky, veľmi hustá sieť civilných a vojenských SSR radarov, ktoré produkujú veľké množstvo SSR dotazov. Taktiež typickým problémom pri veľkom množstve dotazov je takzvané synchrónne a nesynchrónne rušenie v pásme SSR ktoré sťažuje detekciu a vyhodnotenie údajov zostupného dátového spojenia. Jedným z možných riešení obmedzenia množstva dotazov v pásme SSR je zavedenie selektívneho dotazovania lietadiel sekundárnymi radarmi v móde S (režim Lockout). V prípade selektívneho dotazovania pozemný systém SSR zníži množstvo dotazov rádovo. Tým dôjde k zníženiu pravdepodobnosti vzniku neprimeraného množstva dotazov na strane lietadla a zároveň k zníženiu pravdepodobnosti vzniku synchrónneho a nesynchrónneho rušenia na strane SSR systému.

Následným krokom k zníženiu množstva dotazov je vytvorenie prepojenej bunkovej siete SSR radarov, ktoré si vzájomne odovzdávajú všetky údaje prehľadového sledovania. Lietadlový palubný odpovedač je dotazovaný iba tým sekundárnym radarom, ktorý zabezpečuje prehľadové služby v pridelenom vzdušnom priestore. Podmienkou plnej implementácie selektívneho dotazovania je nutnosť zabezpečiť identifikáciu tých lietadiel, ktoré vstupujú do vzdušného priestoru a nie sú ešte v režime Lockout. V tomto prípade sa javí ideálnym riešením práve využitie technológie ADS-B.

2. Rozdelenie leteckých prehľadových služieb

Všeobecne môžeme prehľadové systémy rozdeliť do kategórií:

2.1. Nekooperatívne nezávislé prehľadové systémy - Non-Cooperative Independent Surveillance

Primárne prehľadové radary - Primary Surveillance Radar (PSR). Pozemný alebo palubný prehľadový systém ožaruje požadovaný vzdušný priestor úzkym lúčom elektromagnetického impulzu alebo série impulzov zväčša v rádiovom pásme L, S, S/E (ITU, 2020). Odras elektromagnetického impulzu od prekážky, ktorou je v princípe aj lietadlo, definuje smer a vzdialenosť lietadla - cieľa. Nie je potrebné, aby cieľ akýmkoľvek spôsobom kooperoval - spolupracoval. Primárny prehľadový systém vyhodnotí polohu cieľa - lietadla nezávisle. Primárne prehľadové systémy sú využívané najmä pre poskytovanie prehľadových služieb v koncových riadených oblastiach a tiež pre potreby národnej bezpečnosti.

2.2. Kooperatívne nezávislé prehľadové systémy - Co-operative Independent Surveillance

- Sekundárne prehľadové radary - Secondary Surveillance Radar (SSR)

- Multilateračné systémy –Multilateration MLAT (LAM,WAM)

- Antikolízny system ACAS

Pozemný alebo palubný prehľadový systém ožaruje záujmový priestor úzkym lúčom elektromagnetického žiarenia v pásme 1030 MHz. Elektromagnetické žiarenie je impulzne modulované sériou impulzov (v prípade módu S je použitá DPSK - Differential Phase Shift Keying - modulácia hlavného impulzu P6) z dôvodu umožnenia dátovej komunikácie medzi radarom a lietadlom. Tvar, počet impulzov a ich časový sled definuje „dotaz“. Typ dotazu je určený medzinárodným štandardom v rozsahu od módu 1 až po mód S. Lietadlový odpovedač vyhodnotí typ dotazu na ktorý odvysielala správnu „odpoveď“. Odpoveď je definovaná tvarom, počtom impulzov a ich časovým sledom. V prípade sekundárnych prehľadových systémov je teda potrebné, aby cieľ (lietadlový odpovedač) spolupracoval. Prehľadový systém vyhodnotí polohu cieľa nezávisle na základe smeru z ktorého bola odoslaná odpoveď a zo vzdialenosti, ktorá je určená časom prijatia odpovedi.

2.3. Kooperatívne závislé prehľadové systémy - Co-operative Dependent Surveillance

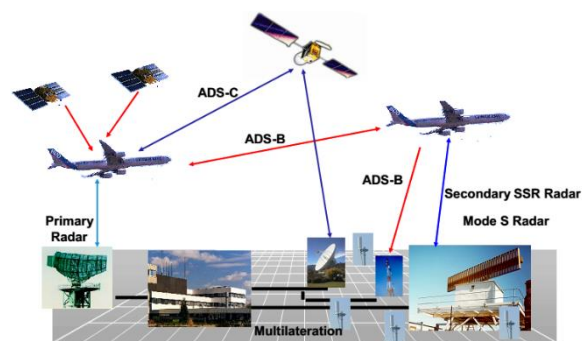
- ADS- C¹ (Contract)

- ADS – B

Prehľadový systém ADS-B môžeme rozdeliť na:

- ADS-B „OUT“ – lietadlová avionika samostatne a automaticky posiela údaje o svojej polohe – údaje prehľadového sledovania a ďalšie údaje.
- ADS-B „IN“ – lietadlová avionika je schopná prijímať a spracovať údaje z vysielania ADS-B OUT iných lietadiel .

Z pohľadu ANS je prehľadová služba plne závislá od údajov, ktoré produkuje a vysielajú lietadlová avionika.



Obrázok 1. Prehľad činnosti jednotlivých systémov ADS-B. Zdroj: (EUROCONTROL, 2020).

ADS-B

Automatic Dependent Surveillance – Broadcast

- Automatic = Automatické vysielanie bez zásahov posádky

¹ ADS – C je viac komunikačný datalink ako prehľadová služba.

- **Dependent** = Závislá od vstupných dát z palubnej avioniky
- **Surveillance** = Poskytuje údaje prehľadového „radarového“ sledovania
- **Broadcast** = Periodicky vysiela pozíciu lietadla a ďalšie údaje

Technológia ADS-B je používaná v troch rozdielnych variantoch:

- ADS-B 1090ES (1090 MHz Extended Squitter)
- VDL Mode 4 (Very High Frequency Data Link)
- UAT (Universal Access Transceiver) 978MHz
- **1090 ES** - využíva rovnaký princíp ako už popísaná mód S technológia. V tomto prípade je použitý podobný palubný odpovedač ako je používaný pre komunikáciu so štandardnými sekundárnymi prehľadovými systémami. 1090 ES variant je medzinárodne štandardizovaný a akceptovaný leteckou komunitou.
- **VDL Mode 4** - pracuje v pásme leteckej komunikačnej služby 118 – 137 MHz. Na rozdiel od 1090 ES vyžaduje inštaláciu ďalšieho palubného prístrojového vybavenia aj v prípade, ak má plnohodnotný palubný odpovedač v móde S. Systém bol vyvinutý vo Švédsku.
- **UAT** - pracuje na frekvencii 966 MHz a je používaný v USA. Systém bol navrhnutý pre potreby všeobecného letectva (GA). Taktiež vyžaduje inštaláciu dodatočného palubného prístrojového vybavenia.

Výhody ADS-B

- Umožňuje poskytovanie informácií o vzájomných polohách lietadiel a polohy medzi lietadlami a to v reálnom čase,
- poskytuje údaje systémov sledovania aj priestoroch, kde štandardné prehľadové systémy nemajú pokrytie,
- v prípade využitia pre službu riadenia vzdušného priestoru umožňuje znižovanie minim rozstupov,
- zvyšuje efektivitu leteckých dopravcov a znižuje ich náklady,
- zvyšuje efektivitu riadenia vzdušného priestoru,
- umožňuje sledovanie a následne aj riadenie vozidiel pohybujúcich sa po letiskových plochách,
- znižuje investičné a prevádzkové náklady na pozemnú infraštruktúru

Nevýhody ADS-B

- Nutnosť inštalácie schválenej avioniky, pričom v lietadlách staršej produkcie sa jedná o pomerne nákladnú investíciu,
- závislosť na dostupnosti globálnych satelitných navigačných systémov pre určenie polohy lietadla alebo polohy mobilného pozemného prostriedku,

- závislosť od funkčnosti a spoľahlivosti palubnej avioniky,
- potreba nevyhnutných investícií do pozemnej infraštruktúry, vrátane investícií do rozšírenia systémov riadenia vzdušného priestoru.

3. História ADS-B

V roku 1991 ICAO / FANS (Future Air Navigation System) panel po prvý krát definoval možnosti systémov ADS pri budúcom zvyšovaní kapacity vzdušného priestoru. Hlavným prínosom ADS pre ATM (Air Traffic Management) bolo znižovanie minim rozstupov a hľadanie riešenia efektívnejšieho využitia vzdušného priestoru v blízkej budúcnosti.

Vývoj systémov ADS-B nezávisle prebieha na oboch stranách Atlantiku. V USA programom NextGen (FAA, 2020) a v Európe programom SESAR (SESAR, 2020).

S postupným vývojom systémov ADS vznikol prvý použiteľný štandard pre palubné ADS-B zariadenia, ktorým sa stal dokument DO-260/ 260A. Dokument špecifikuje charakteristiky a minimálne požiadavky MASPS (Minimum Aviation System Performance Standards) pre ADS –B, ktoré boli určené najmä pre konštruktérov a výrobcov palubných prístrojov, výrobcov pozemnej infraštruktúry, servisné organizácie, pre poskytovateľov navigačných služieb atď. Štandardy ADS-B následne prechádzali postupnou evolúciou. Z pohľadu lietadlovej avioniky bola služba ADS-B rozdelená na službu ADS-B OUT a ADS-B IN.

Aktuálne (2019) platnými štandardmi sú :

3.1. Pre ADS-B OUT:

- ADS-B OUT for use in Non-Radar Airspace (ADS-B NRA, ED-126 / DO-303);
- ADS-B OUT for use in Radar Airspace (ADS-B RAD, ED-161 / DO-318);
- ADS-B OUT for Airport Surface Surveillance (ADS-B APT, ED-163 / DO-321);
- Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for 1090 MHz extended squitter ADS-B (ED-102A / DO-260B);
- Technical specification for a 1090 MHz extended squitter ADS-B ground system (ED-129B)
- EASA AMC 20-24 ADS-B NRA
- EASA CS–ACNS and FAA AC20-165A for ADS-B RAD
- FAA TSO C166B

3.2. Pre ADS-B IN sú to:

- In-Trail Procedure in oceanic airspace (ITP, ED-159 / DO-312);
- Visual Separation on Approach (VSA, ED-160 / DO-314);
- Enhanced Traffic Situation Awareness during Flight Operations (AIRB, ED-164 / DO-319);

- Enhanced Traffic Situation Awareness on the Airport Surface (SURF, ED-165 / DO-322);
- Traffic Situation Awareness with Alerts (TSAA, ED-232 / DO-348);
- CDTI Assisted Visual Separation (CAVS, ED-233 / DO-354);
- Flight Deck Interval Management (FIM, ED-195A / DO-328A);
- Aircraft Surveillance Applications (ASA) System MOPS including several ADS-B In applications (ED-194A / DO-317A);
- Flight-deck Interval Management (FIM) MOPS (ED-236 / DO-361).

Dva krát novelizované vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) č.1207/2011 zavádza povinnosť pre všetky lietadlá, tak ako sú definované v článku 5 a v článku 8 tohto nariadenia a vykonávajúce lety v súlade s pravidlami letu podľa prístrojov ich vybavenie spôsobilou avionikou, ktorá umožňuje vysielanie ADS-B údajov prehľadového sledovania (časť B prílohy II. nariadenia).

Predmetné nariadenie zavádza povinnosťou leteckému prevádzkovateľovi, aby mal svoje lietadlá vybavené vhodnou ADS-B OUT technológiou do 7. júna 2020.

4. Mód S krátka správa (Short Squitter) alebo mód S dlhá správa (Extended - Long Squitter) údajov zostupného sledovania

Ako už bolo skôr spomenuté, systém ADS-B využíva zavedenú technológiu mód S sekundárnych radarov.

Avšak údaje zostupného sledovania v móde S poznajú dve úrovne dátovej správy z lietadla:

Elementary – Short squitter, jedná sa o základnú úroveň správ údajov prehľadového sledovania, ktorými sú vysielanie jedinečnej 24 bitovej ICAO adresy lietadla, barometrickej výšky v 25ft škále, identifikácie lietadla podľa kódu (Callsign, v letovom pláne je tento údaj uvedený pod políčkou 7), informácii o lietadle na zemi (airborne/ on the ground) a niektorých ďalších. Úroveň prehľadového sledovania Elementary využíva taktiež protizráškový systém ACAS.

Úroveň Elementary využíva zostupnú správu o dĺžke 56 bitov nazvanú „Short squitter“

Správa je formátovaná nasledovne:

CONTROL

- DF (Downlink Format) - identifikuje typ správy, napr. správa ACAS je kódovaná ako DF01
- FS (Flight Status)
- SPI (Special Position Identification Pulse)

DATA

- AC (Altitude- „Mode C“)

- ID – (Identify field – „Mode A“)
- PARITY CHECK – CRC (Cyclic Redundancy Check)

Enhanced/Extended – Long squitter, rozšírením základnej úrovne Elementary správ o ďalších 56 bitov umožnilo podstatne zväčšenie množstva zasielaných údajov prehľadového sledovania. Toto rozšírenie je označené ako blok DATA. Úroveň **Enhanced/Extended** využíva zostupnú správu o dĺžke **112 bitov nazvanú „Long squitter“**.

Technológia ADS-B je založená iba na **Enhanced/Extended** formáte údajov zostupného sledovania!

V prípade vysielania správy ADS-B je správa Enhanced/Extended identifikovaná kódom DF17 v bloku CONTROL správy a vysielanie TIS-B kódom DF18 v bloku CONTROL správy.

CONTROL – 8 bits	DATA&ICAO ADDRESS - 24 bits	DATA - 56 bits	PARITY CHECK - 24 bits
---------------------	-----------------------------------	-------------------	------------------------------

Správa je potom formátovaná nasledovne:

V bloku DATA sú navyše voči úrovni Elementary kódované údaje ako:

Pevne nakódované údaje

- **Identifikácia lietadla.** Pri identifikácii lietadla je použitá priradená ICAO 24 bitová adresa lietadla.
- **Kategória lietadla.** Napríklad: ľahké alebo ťažšie lietadlo, vrtuľník, balón, bezpilotné lietadlo atď.

Údaje poskytované prijímačom GNSS

- **3D pozícia lietadla v priestore.** Zemepisná šírka a zemepisná dĺžka, výška nad geoidom, GPS track, traťová rýchlosť, čas UTC, limity integrity, FOM (Figure of Merit)

Údaje poskytované barometrickým počítačom

- **Vzdušné dáta.** barometrická výška, pravá vzdušná rýchlosť, gradient stúpania alebo klesania, nastavenie QNH

Údaje poskytované FMS

CONTROL – 8 bits	DATA&ICAO ADDRESS - 24 bits	PARITY CHECK - 24 bits
---------------------	--------------------------------	---------------------------

- magnetický kurz, zadaný HDG
- nastavená letová hladina

Nastavené alebo diskkrétne údaje

- **Kód lietadla.** Je vysielaný kód lietadla, ktorý je uvedený v letovom pláne (napr. MOJLET01),
- **Ident - SPI**

- **Lietadlo na zemi (WOW – Weight on Wheels)**

Všetky údaje tak ako sú uvedené vyššie sú v bloku DATA kódované do registrov nazvaných ako BDS (Binary Data Store). V prvých piatich bitoch bloku DATA je nakódovaný typ registra. Je to z dôvodu, aby prijímateľ správy vedel, aké informácie sú správou posielané. Registre BDS sú vysielané s rôznou periodicitou podľa toho, či sa lietadlo nachádza na zemi, roluje alebo je už po vzlete. Frekvencia vysielania správ ADS-B je znázornená v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 1: Frekvencia vysielanie správ ADS-B. Zdroj: Autor.

Registru (BDS)	Priorita správy	Typ správy	Periodicita správ (s)		
			Lietadlo na zemi, nepohybujúce sa	Lietadlo na zemi, roluje	Lietadlo po vzlete
BDS 0,5	Bez priority	Pozícia letiaceho lietadla	N/A	N/A	0,5 s (0,4s – 0,6s)
BDS 0,6	Bez priority	Pozícia lietadla na zemi	Low rate 5s (4,8s – 5,2s)	High rate 0,5 s (0,4s – 0,6s)	N/A
BDS 0,8	Bez priority	Identifikácia a kategória lietadla	Low rate 10s (9,8s – 10,2s)	High rate 5s (4,8s – 5,2s)	High rate 5s (4,8s – 5,2s)
BDS 0,9	Bez priority	Horizontálna/vertikálna rýchlosť	N/A	N/A	0,5 s (0,4s – 0,6s)
BDS 6,1	ACAS RA – priorita 1	Status mimoriadnej situácie lietadla alebo priorita lietadla	ACAS RA alebo zmena kódu módu A 0,7s – 0,9s		
	Emergency/Priority - priorita 2		Iné ako ACAS RA alebo zmena kódu módu A (4,8s – 5,2s)		
BDS 6,2	Bez priority	Status lietadla -Target State and Status (TSS)	N/A	N/A	1,2s – 1,3s
BDS 6,5	Bez priority	Prevádzkový status lietadla	Low rate 5s (4,8s – 5,2s)	Žiadna zmena NIC/NAC/SIL 2,4s – 2,6s	Bolo vysielané TSS alebo nie. Žiadna zmena ACAS/NIC/NAC/SIL 2,4s – 2,6s
				Pri zmene NIC/NAC/SIL 0,7s – 0,9s	Bolo vysielané TSS Pri zmene ACAS/NIC/NAC/SIL 2,4s – 2,6s
				Nebolo vysielané TSS Pri zmene ACAS/NIC/NAC/SIL 0,7s – 0,9s	Nebolo vysielané TSS Pri zmene ACAS/NIC/NAC/SIL 0,7s – 0,9s

Periodicita vysielania správ ADS-B je rozdelená do dvoch základných režimov:

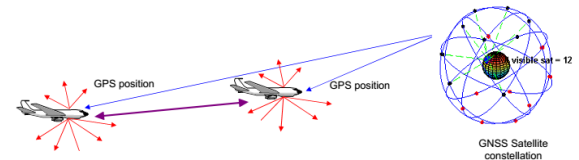
- High rate – lietadlo je po vzlete - správa je vysielaná s periodicitou 0,5s so zavedenou nepravidelnosťou $\pm 0,1s$.
- Low rate – správa je vysielaná s periodicitou 5s so zavedenou nepravidelnosťou $\pm 0,2s$. Tento režim je aktívny iba v prípade, ak lietadlo roluje.
- Low rate – 10s so zavedenou nepravidelnosťou $\pm 0,2s$. Tento režim je aktívny v prípade ak je palubný odpovedač zapnutý a lietadlo stojí na stojisku.

Podmienkou pre vyslanie ADS-B správy je tiež to, že správa nebude nijakým spôsobom obmedzovať komunikáciu protizrážkového systému ACAS lietadla alebo odpovede lietadla na dotaz z SSR radaru.

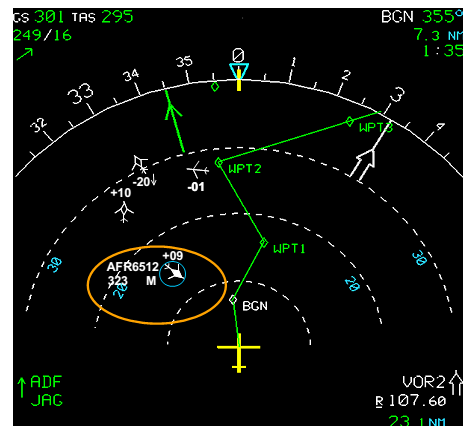
5. Evolúcia systémov ADS-B

5.1. ADS-B IN

ADS-B IN umožňuje lietadlovej avionike prijímať vysielanie správ ADS-B OUT z iných lietadiel. Podmienkou funkčnosti ADS-B IN je inštalácia príslušného prijímača v pásme 1090 MHz, ďalej schopnosť spracovať prijaté ADS-B OUT správy a schopnosť zobraziť ich v cockpite lietadla. Funkcia ADS-B IN umožňuje získať ďaleko väčší prehľad o vzdušnej situácii, než je v možnostiach protizrážkových systémov ACAS.



Obrázok 2: Prehľad činnosti protizrážkových systémov. Zdroj: (EUROCONTROL, 2020).



Obrázok 3: Znáznornenie na prístrojoch lietadla. Zdroj: (EUROCONTROL, 2020).

5.2. Traffic Information Service – Broadcast (TIS-B)

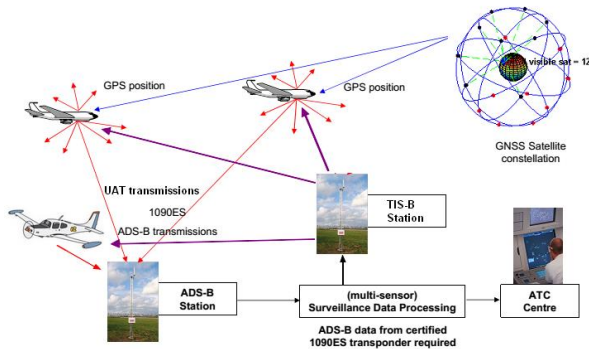
TIS-B je technológia založená na vysielaní informácii pomocou technológie ADS-B 1090 ES. Táto technológia umožňuje lietadlám prijímať informácie vysielané z pozemných staníc, ako obraz vzdušnej situácie, alebo informácie o pohybe pozemných prostriedkov na pohybových plochách letiska. Správy prehľadového sledovania TIS-B sú od vysielania správ ADS-B OUT odlišené tak, že sú vysielané s kódom DF18 v časti CONTROL správy.

Lietadlová avionika je schopná prijímať a spracovať správy TIS-B iba v prípade ak je prijímač ADS-B IN 1090 ES / TIS-B certifikovaný podľa špecifikácie DO-286A Minimum Aviation Systems Performance Standards (MASPS) for Traffic Information Services-Broadcast (TIS-B), Revision A, RTCA, Inc.

Služba TIS-B umožňuje vysielanie komplexného obrazu situácie vo vzdušnom priestore. Komplexnosťou sa myslí reálna situácia, v ktorej je bežné, že sa vo vzdušnom priestore nachádzajú lietadlá, ktoré sú vybavené s navzájom nekompatibilnou avionikou sekundárneho prehľadového sledovania (napr. 1090 MHz ES versus UAT), alebo lietadlá, ktoré sú vybavené iba zastaraným systémom sekundárneho

odpovedača SSR. Taktiež nastáva situácia, že geografický reliéf znemožňuje lietadlám prijímanie správ ADS-B OUT. V takýchto prípadoch hrozí, že posádka lietadla s palubným vybavením ACAS a ADS-B IN nemá súhrnnú informáciu o možnej konfliktnej leteckej prevádzke.

Avšak poskytovateľ navigačnej služby v rámci svojich prehľadových služieb spracováva prehľadovú informáciu so všetkých dostupných zdrojov. Ak je poskytovateľ navigačnej služby vybavený pre vysielanie správ TIS-B, potom je schopný informáciu o polohe všetkých lietadiel vo vzdušnom priestore zdieľať prostredníctvom služby TIS-B.



Obrázok 4: Prehľad činnosti služby TIS-B. Zdroj: (EUROCONTROL, 2020).

5.3. Flight Information Services-Broadcast (FIS-B)

FIS-B poskytuje posádkam lietadiel možnosť príjmu textových alebo grafických informácií o meteorologickej situácii, ďalej umožňuje prijímať správy NOTAM alebo ATIS. Služba FIS-B je forma informačného datalinku. Prijímať správy pomocou datalinku FIS-B je v Európe obmedzené z dôvodu, že je možné iba špecifikácii prijímača UAT, ktorý ako už bolo uvedené v úvode tohto článku, nie je v Európe štandardizovaný. Správy FIS-B sú schopné prijímať tie palubné prijímače, ktoré sú kompatibilné so špecifikáciou DO-267A - Minimum Aviation Systems Performance Standards (MASPS) for Flight Information Services-Broadcast (FIS-B) Data Link, RTCA, Inc.

FIS-B vyžaduje pomerne robustnú sieť vysielacích staníc. Práve takáto sieť je plnohodnotne vybudovaná iba v USA.

V Európe je skúšobné vysielanie FIS-B (2019) zatiaľ iba vo Veľkej Británii.

FIS-B poskytuje lietadlám možnosť príjmu textových alebo grafických informácií ako sú:

- NextRad, obraz význačného počasia s periodicitou 15 min
- TFRs (Temporary Flight Restrictions) – s periodicitou 20 min
- METAR - s periodicitou 5 min
- PIREP (Pilot Weather Reports, TAF) – s periodicitou 20 min
- Winds and Temperatures Aloft – s periodicitou 12 hod
- SIGMETs and AIRMETs – s periodicitou 20 min

5.4. Satelitná služba ADS-B – Satellite Based ADS-B

Ďalšou evolúciou využívania ADS-B je satelitná letecká prehľadová služba. Služba je založená na hustej konštelácii družíc na nízkej obežnej dráhe, pričom tieto družice sú vybavené prijímačmi ADS-B. V súčasnosti je v tomto druhu leteckej prehľadovej služby najambicióznější projekt spoločnosti Iridium, ktorá v minulom roku kompletne nahradila svoj satelitný telekomunikačný systém Iridium Global Satellite Network (IRIDIUM, 2020). Satelitný telekomunikačný systém Iridium bol nahradený družicami novej generácie. Nová generácia družíc nesie označenie Iridium NEXT, pričom každá družica Iridium NEXT je na rozdiel od staršieho typu vybavená prijímačom ADS-B.

Ambíciou družicového telekomunikačného operátora je poskytovať globálnu informáciu prehľadového sledovania. Ako už bolo spomenuté, spoľahlivá satelitná služba ADS-B musí byť založená na veľmi hustej konštelácii, ktorá je umiestnená na nízkej obežnej dráhe. Preto sa systém Iridium skladá až z 66 aktívnych satelitov Iridium NEXT, ktoré sú umiestnené práve na nízkej obežnej dráhe. V súčasnosti (2019) prebieha jeho certifikácia organizáciou EASA.

6. Záver

Zabezpečenie leteckej prehľadovej služby pomocou technológie ADS-B, či už je to ADS-B OUT alebo ADS-B IN, prípadne TIS-B a FIS-B je významných zvýšením bezpečnosti v civilnom letectve.

Technológia ADS-B poskytne kvalitné údaje prehľadového sledovania aj v priestoroch, v ktorých sú klasické prehľadové systémy neefektívne, buď z dôvodu kvality, technickej zložitosti alebo finančnej náročnosti.

Plošné rozšírenie funkcionality ADS-B o nadstavbu TIS-B a FIS-B prinesie úplne nový rozmer dostupných informácií, buď o leteckej prevádzke, o obmedzeniach vo vzdušnom priestore alebo o aktuálnej meteorologickej situácii.

Zavedenie satelitnej siete prijímačov ADS-B umožní globálne pokrytie tejto leteckej prehľadovej služby.

Záujmom leteckej verejnosti by mal byť tlak na skoré zavedenie výdobytkov technologického pokroku, ktorým je aj ADS-B, do reálneho života.

Referencie

EUROCONTROL, 2020. IANS SUR – RAD presentation.

FAA, 2020. NextGen. Dostupné na: <https://www.faa.gov/nextgen/>

Galierikova, A., Materna, M., Sosedova, J. 2018. Analysis of risks in aviation. Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2018-October, pp. 1427-1431

ICAO, 2020. Annex 10, Volume IV.

IRIDIUM, 2020. Iridium Global Satellite Network. Dostupné na: <https://www.iridiumnext.com/>

ITU, 2020. Nomenclature of frequency and wavelength bands uses in telecommunications

Novák, A., Havel, K., Janovec, M.. 2017. Measuring and Testing the Instrument Landing System at the Airport Zilina. Transportation Research Procedia 28, pp. 117-126

Novák, A., Jůn, F., Škultéty, F., Sedláčková, A.N. 2019. Experiment Demonstrating the Possible Impact of GNSS Interference on Instrument Approach on RWY 06 LZZI. Transportation Research Procedia, 43, pp. 74-83

Novák, A., Sedláčková, A.N., Stelmach, A., Novák, D. 2020. Safety implications of gnss signal interference at Zilina airport. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina 22(3), pp. 40-48.

Topkova, T., Pleninger, S. (2019). Comparison of approaches to distinguishing SSR mode S comm-B replies. Paper presented at the Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2019-October 1128-1134.

SESAR, 2020. Dostupné na: <https://www.sesarju.eu/>

Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) č.1207/2011 ktorým sa ustanovujú požiadavky na výkonnosť a interoperabilitu sledovania pre jednotné európske nebo.

ANALÝZA RUŠENIA SIGNÁLU GNSS NA LETISKU POPRAD- TATRY

ANALYSIS OF GNSS SIGNAL INTERFERENCE AT THE AIRPORT – TATRY POPRAD

Andrej Novák

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

Alena Novák Sedláčková

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

Anna Stelmach

Faculty of Transport,
Warsaw University of Technology
ul. Koszykowa 75
00-662 Warsaw
ast@wt.pw.edu.pl

Abstract

The paper is focused on the GNSS signal interference during the airport approach procedures at small Slovak regional airport Poprad-Tatry. The paper analyzes the simulation of the situation during the identification and monitoring of GNSS signal interference by ground station situated at the airport. Nowadays is still important to develop air transport and increasing the safety and continuity of provided services even at small regional airports. One of the most appropriate possibilities is to use at this kind of airports with insufficiently equipped navigation infrastructure the GNSS approach. The monitoring of reliability of this system and implementation of monitoring the GNSS signal interference in the final phase of the instrument approach will increase the safety of the flight.

Keywords

aircraft, GNSS, signal interference, safety

1. Úvod

Satelitné navigačné systémy existujú od začiatku 60-tych rokov, kedy začal vývoj prvých navigačných satelitov. Vývoju satelitných systémov a ich implementácii do letectva v 90-tych rokoch dopomohol aj masívny rozvoj výpočtovej techniky, zvyšovanie a zavádzanie nových postupov do riadenia vzdušného priestoru, ale aj problémy s navigačnou výkonnosťou existujúcich pozemných terestriálnych navigačných systémov. Jedným z prvých podstatných míľnikov využívania satelitných navigačných systémov v civilnom letectve, bolo zostrelenie civilného lietadla Korean leto K007 dňa 1. septembra 1983, ktoré vzniklo v dôsledku chýb posádky pri navigácii. Lietadlo sa odchyľilo z pravidelnej a plánovanej trasy, vletelo do sovietskeho vzdušného priestoru, kde bolo chybné identifikované a následne zostrelené. Ako reakcia na tento incident bolo uvoľnenie vojenského navigačného satelitného systému GPS pre civilné účely prezidentom USA Ronaldom Reganom. Druhým míľnikom bolo vypnutie zámerného znepresnenia signálu GPS L1 C/A 1.mája 2000 a zavedenie rozšírených satelitných navigačných systémov, a to buď na báze pozemného rozšírenia označovaného GBAS, alebo na báze satelitného rozšírenia na báze SBAS. Oba varianty rozšírenia satelitných navigačných systémov poskytujú používateľom v letectve výhody zvýšenej presnosti určenia polohy 3D, kontinuity, integrity a bezpečnosti.

Tretím míľnikom vo vývoji je zapojenie nových satelitných navigačných systémov, ktorými sú Galileo a BeiDou do leteckej navigácie a ich využitie pre letectvo. Tento krok umožní prechod od jedného signálu GPS L1 C/A na osem signálov zo štyroch satelitných navigačných systémov (Eurocontrol, 2018). Pokiaľ americký systém GPS na frekvencii L1 zabezpečoval doteraz v leteckej navigácii požadovanú navigačnú výkonnosť (PBN – Performance-based Navigation), určenie polohy lietadla

pre automatické závislé sledovanie (ADS-B) a navigačnú podporu pre systémy slúžiace pre bezpečnosť (TAWS - Terrain Avoidance Warning Systems), tak v budúcnosti sa predpokladá, že budú v leteckej navigácii resp. aj v iných druhoch navigácie používané dvoj frekvenčné multikonštalčné služby (DFMC - Dual Frequency Multi Constellation services), kombinujúce dve frekvencie z rôznych satelitných navigačných systémov Amerického GPS, Ruského GLONASS, Európskeho Galileo, Čínskeho BeiDou, ktoré pomôžu civilnému letectvu zvýšiť navigačnú výkonnosť, kontinuitu a integritu systému presnej leteckej navigácie. Teda DFMC GNSS v letectve znamená využitie dvojfrekvenčného signálu až zo štyroch GNSS zdrojov. Toto umožní zlepšiť palubný rozšírený satelitný systém (ABAS), satelitný rozšírený systém (SBAS) a pozemný rozšírený systém (GBAS). Zvedenie DFMC pre použitie v civilnom letectve sa predpokladá v rokoch 2025 až 2028. Myšlienka zavedenia DFMC nie je nová a jej využívanie je už bežné v oblasti geodézie a kartografie viac ako 10 rokov, pričom prvé prístroje s touto funkcionalitou poskytovali na trhu firmy Leica a Trimble (Rostáš, 2017).

Problém závislosti systémov GNSS iba na jednom zdroji dát, ktorým je GPS L1 C/A je v značnej miere veľmi obmedzujúci z pohľadu bezpečnosti a pravidelnosti leteckej dopravy. Z pohľadu ekonomickej efektívnosti sa takýto monopol v poskytovaní navigačných informácií na prvý pohľad môže zdať výhodný, ale má svoje limity z pohľadu potreby udržiavania rozsiahlej pozemnej a palubnej infraštruktúry založenej na konvenčnej navigácii VOR/DME, resp. DME/DME. Takto monopolne postavený GNSS iba na GPS L1 C/A je málo odolný voči náhodnému rušeniu a zámernému rušeniu frekvencie v niektorých regiónoch sveta. V Európe, ale aj inde vo svete dochádza k náhodnému, lokálnemu rušeniu satelitných navigačných systémov, ktoré tak strácajú svoju navigačnú

výkonnosť, kontinuitu poskytovania služby a v neposlednom rade aj presnosť určenia polohy a času (Eurocontrol, 2018).

2. Identifikácia rušenia signálu GNSS

Problematika identifikácie rušenia signálu GNSS bola rozpracovaná viacerými autormi publikácií, pričom tento problém je možné rozdeliť na dva parciálne problémy. Prvým je rušenie signálu GNSS, ktoré je nežiaduce nie len v oblasti leteckej dopravy pri určovaní polohy v reálnom čase, ale aj pri inteligentných dopravných systémoch. Druhým parciálnym problémom je identifikácia a lokalizácia rušenia signálu GNSS. Týmto problémom sa obširnejšie venujú aj autori (Novák, 2019). Neverejné signály GNSS, ktoré sú poskytované pre vojenské a špeciálne aplikácie sú obvykle šifrované. Ich odolnosť voči rušiacemu signálu je relatívne väčšia vzhľadom na využitie dvoch a viacerých nosných frekvencií pre prenos navigačných dát. Avšak vo verejne dostupných službách označovaných ako „open service“ (OS) je signál vysielaný na jednej frekvencii, takže odolnosť tohoto systému výrazne klesá. Vzhľadom na skutočnosť, že signál zo satelitu má na povrchu zeme veľmi nízku hodnotu intenzity signálu rádovo -120 až -130 dBW (prijímač je schopný spracovať signál až do úrovne -158,5dBW) (Kováčik, 2019), je najjednoduchším útokom na signál GNSS generovanie interferencie alebo jammingu. V prípade použitia meaconingu alebo spoofingu, je takýto typ útoku oveľa náročnejší, a preto si tento typ rušenia vyžaduje pomerne dobré technické zabezpečenie, ktorého zaobstaranie je pomerne finančne náročné. Napríklad dosky HackRF one umožňujú postaviť pomerne jednoduchý systém do 250,-EUR. Meaconing, vysielanie falošného signálu so zámerom naviesť cieľ do inej oblasti, si vyžaduje sofistikované know-how, ale aj technické vybavenie zodpovedajúce rádovo desiatkam tisíc eur (antény systém, generátor GNSS signálu, radar respektíve lidar alebo kamerový systém na zisťovanie polohy rušeného cieľa).

Rušenie signálu GNSS môžeme rozdeliť do dvoch kategórií. Prvú kategóriu tvoria rušenia, ktoré nie sú zámerné a vznikajú od rôznych elektrických zariadení pracujúcich na harmonických frekvenciách blízkyh k systémom GNSS. Či už sú to rôzne rádioreléové spoje, televízne vysielače, radary, ale aj poškodené bázové stanice mobilných operátorov (BTS). Druhú skupinu tvorí rušenie resp. jamming spôsobené zámerným rušením frekvenčného spektra signálov GNSS. Tu ide buď o zámerné koordinované útoky, alebo ľudí využívajúcich osobné rušičky rádiového spektra označované aj ako PPD (Personal Privac Device). Ako typický prípad rušenia je možné použiť príklad rušenie signálu GNSS na letisku Newar v New Jersey v roku 2009, kde bol novo inštalovaný systém GBAS (Curran, 2017). Tento systém vykazoval v logoch krátkodobé výpadky integrity systému, spôsobené prerušovaním signálu GNSS (GPS L1 C/A). Po dvoch mesiacoch vyšetrovania zo strany Federálneho úradu civilného letectva v USA (Federal Aviation Administration, FAA) bolo identifikované rušenie, ktoré bolo spôsobené prechádzajúcim vozidlom s vodičom, ktorý používal voľne dostupné PPD. Počas incidentu nedošlo k žiadnym škodám na majetku a životoch, avšak tento prípad ukázal, ako jednoducho je možné rušiť tak sofistikovaný systém GBAS, pokiaľ je postavený na prijíme jedného signálu GNSS (GPS L1 C/A)(Novák, 2019).

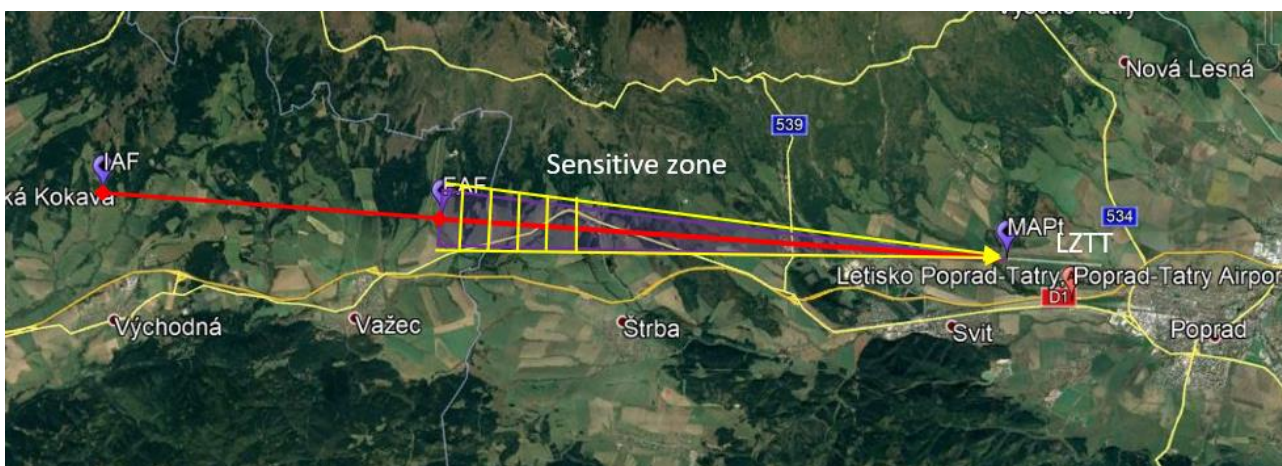
Rušenie na frekvencii GPS L1 sa môže vo vysielanom spektre prejavovať rôznym spôsobom vzhľadom na skutočnosť, že signál je

rozprestretý. Vzhľadom na skutočnosť, že elektromagnetické spektrum je obmedzené, musí byť jeho vysielanie regulované. Reguláciou spektra sa zaoberá Medzinárodná telekomunikačná únia (International Telecommunication Union /ITU), pričom vysielanie frekvencií GNSS je v oblasti RNSS frekvenčného pásma 1164 až 1215 MHz, 1240 až 1330 MHz a 5010 až 5030 MHz (Brída, 2013).

Potencionálne rušenie signálu GNSS je problematické predovšetkým vo fáze konečného priblíženia lietadla. Nakoľko v tejto fáze letu je požadovaná najväčšia navigačná výkonnosť lietadla. (DOC 9631, 2008) Ak stanovujeme kritickú fázu letu, môžeme vychádzať zo štatistík nehôd. (Geoffrey, 2018) Z tejto vyplýva, že najväčšie percento je vo fáze konečného priblíženia a pristátia (Final Approach and Landing). Problematickými sú práve oblasti pre využitie presného priblíženia, ktoré pretína dopravná infraštruktúra (diaľnice alebo cesty s vysokou intenzitou dopravy) respektíve sú v husto zastavaných oblastiach (priemyselné zóny, výrobné závody a špecializované podniky). Podľa (Curran, 2017) dochádza k náhodnému rušeniu signálu práve nad oblasťami, ktoré sú priemyselne aktívnymi zónami, alebo sú tam dopravné infraštruktúry s vysokou intenzitou. Typickým príkladom je letisko Frankfurt, kde dochádza k rušeniu signálu GNSS predovšetkým z automobilov nachádzajúcich sa na diaľnici A3, ktorá je paralelná so vzletovou a pristávacou dráhou. Na základe výsledkov experimentov (Novák, 2018b), s použitím metódy analógie sme sa rozhodli otestovať pre letisko Poprad Tatry tento model a identifikovať tak pre uvedené letisko kritický bod priblíženia z pohľadu rušenia signálov GNSS. Na základe výsledkov nášho merania (experimentu) realizovaného na letisku Žilina (Novák, 2018a), je možné vyvodiť, že kritickým miestom sú z pohľadu personálnych (osobných) rušičiek a automobilových rušičiek práve miesta, kde cestná infraštruktúra (diaľnica, cesta prvej triedy) pretína zostupovú os pre prístrojové priblíženie. V prípade letiska Poprad_Tatry sú schválené dve priblíženia RNP RWY 27 a RNP RWY 09 ktorých zostupová os pretína cestnú infraštruktúru. Na základe vyššie uvedených poznatkov je možné identifikovať kritické miesto, ako miesto, respektíve priestor, kde keď lietadlo klesne pod kritickú výšku nad terénom (obrázok č.1 a obrázok č.2). Táto výška je rozdielna pre jednotlivé smery z dôvodu rôzneho zostupového uhla, ktorý vychádza z orografie terénu ako aj z požiadaviek predpisu ICAO DOC 8168. Na obrázku č. 2 je kritická fáza letu vyznačená fialovou farbou a je vymedzená priestorom MAPt (Missed Approach Point) až po priestor FAF (Final Approach Fix) v prípade priblíženia RNP RWY 09. Kritická fáza letu pre RNP RWY 27 je vyznačená fialovou farbou a začína bodom MAPt a končí vo vzdialenosti 4,5 NM od tohto bodu smerom k FAF, tak ako je načrtnuté na obrázku č.1.



Obrázok 1: Zostupová os priblíženia pre letisko Poprad pre dráhu 27. Zdroj: Autori.



Obrázok 2: Zostupová os priblíženia pre letisko Poprad pre dráhu 09. Zdroj: Autori.

3. Analýza možných miest umiestnenia detektora

Na základe štatistických výstupov merania, ktoré vykonávala Polícia SR v spolupráci s Úradom pre reguláciu elektronických komunikácií a poštových služieb bolo v rokoch 2012 až 2017 zistené, že výskyt rušenia GNSS na frekvencii GPS L1 je predovšetkým na diaľničných úsekoch, rýchlostných cestách a cestách prvej triedy, ktoré podliehajú spoplatneniu mýtnym systémom využívajúcim GPS L1. Preto je veľmi dôležité analyzovať práve tieto typy ciest a ich súbeh s osou priblíženia pre dráhu 27 a 09. Pri analýze možných miest sme vychádzali z orografie terénu, modelu šírenia elektromagnetických vln, citlivej zóny a profilu zostupovej osy pre prístrojovú dráhu 27 a 09. Pre našu analýzu sme si vybrali práve letisko Poprad-Tatry,

ktoré svojim charakterom predstavuje typický prípad regionálneho letiska umiestneného v členitom horskom teréne s rôznymi zostupovými uhlami. Na letisku je vykonávaná nepravidelná letecká doprava, charterové lety, výcvik študentov a vrtuľníková záchranná zdravotná služba. Pri voľbe vhodného miesta umiestnenia je nutné analyzovať možné potencionálne zdroje rušenia a ich dosah na zostupovú os prístrojového priblíženia pozri obrázok č. 3. V tomto prípade sme identifikovali na základe expertného posúdenia, body 1,2 a 3 význačné v obrázku č. 3, ktoré ležia na existujúcej dopravnej infraštruktúre a prelínajú sa so zostupovou osou pre dráhu 09 a 27. Uvedené úseky sú z nášho pohľadu kritické pre vykonanie bezpečného priblíženia.



Obrázok 3: Priblíženie na letisko Poprad pre dráhu 09 a 27. Zdroj: Autori.

Toto rozdelenie nám umožní presnejšie identifikovať riziká, ktoré by rušenie signálu GNSS mohlo spôsobiť v tejto fáze letu (obrázok č.1 a obrázok č.2). Napriek tomu, že existuje spracovaných niekoľko štúdií (LPS SR, Eurocontrol), ktoré popisujú uvedené riziko, žiadna z nich explicitne nepočíta s zámerným rušením a jeho nárastom v období po zavedení prístrojového priblíženia LPV, ba dokonca ani pri následných kalibračných letoch sa už neuvažuje s ich opakovaním. Napriek skutočnosti, že počas tejto fázy letu sa stalo až 48% z celkového počtu fatálnych incidentov (Geoffrey, 2018). Na základe vyššie uvedených, analýz, zistení a modelovania situácie sme sa rozhodli identifikovať vhodné miesto pre umiestnenie detektora rušenia signálu GNSS. Pri rušení GNSS signálu musíme počítať nie len s montovaním GPS, GLONASS a Galileo, ale aj s monitoringom signálu EGNOS, signálom je vysielaný na rovnakej frekvencii ako GPS L1 1575,42 MHz. Podmienky, ktoré by takýto bod mal spĺňa sú nasledujúce: technická infraštruktúra (napojenie na elektrickú sieť a možnosť prenosu dát) a úsek na trati konečného priblíženia. Z expertnej analýzy teda vyplýva, že takýto bod by mal byť na letisku Poprad- Tatry v osi zostupovej roviny pre prístrojovú drahú RNP RWY 09, ale aj pre prístrojovú dráhu RNP RWY 27.

4. Simulácia rušenia v reálnom prostredí a jeho identifikácia

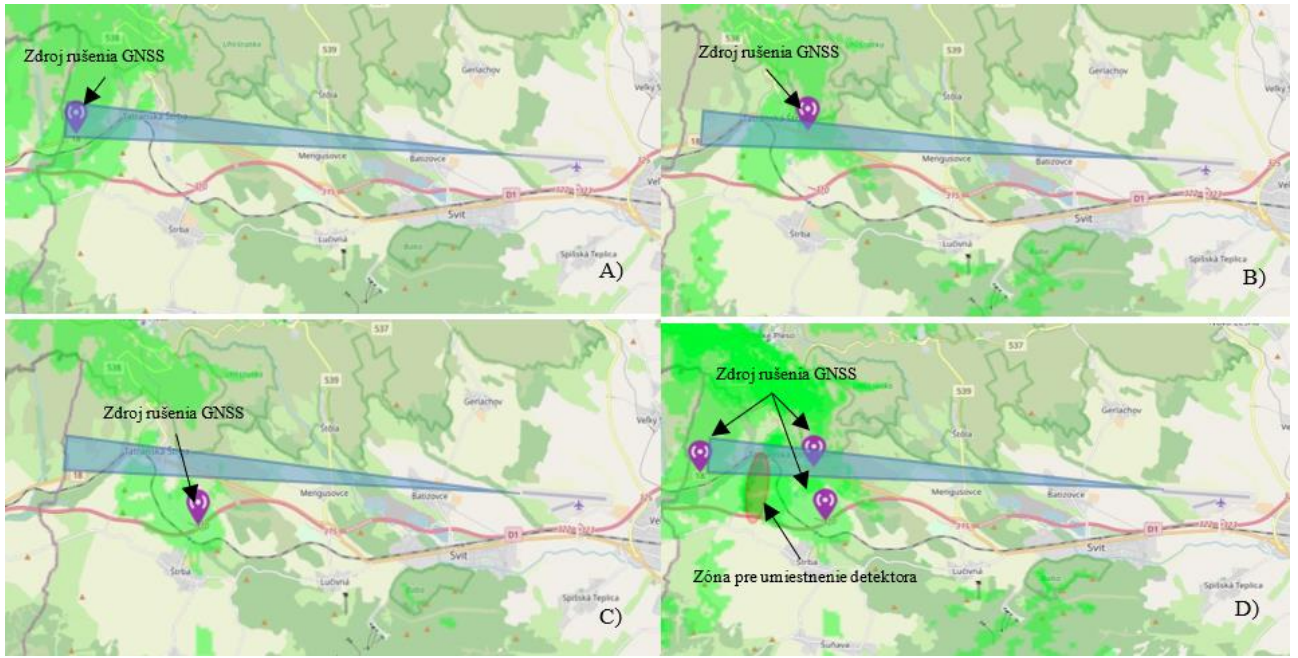
Pre letisko Poprad-Tatry sme vybrali dva body, prvým bodom pre RNP RWY 09 je bod NDB TATRY WEST, druhým bodom pre RNP RWY 27 je bod VOR/DME TATRY. V týchto bodoch sme umiestnili v simulácii prijímač signálu GNSS, pričom výška antény nad zemou zodpovedá výške existujúceho stožiaru, s umiestnením antény vo výške 10 m nad terénom. Pre simuláciu rušiacieho signálu sme zvolili auto pohybujúce sa po diaľnici s výškou antény, ktorá ruší signál cca 2 m nad terénom, čo predstavuje bežné dodávkové auto alebo jazdná súprava. Parametre rušičky boli stanovené ako priemerná hodnota z dostupných generátorov signálu a merania bežne dostupných jammerov predávaných na internete. Výkon pre nás dostupných „jammerov“ sa pohybuje spravidla od -18 dBm ±2dBm bol už popísaný v článkoch (Kováčik, 2019), resp. Bol odmeraný prostredníctvom FSH4 R&S. Zisk antény a útlm bol pre zjednodušenie výpočtu stanovený na hodnotu 0 dB, obdobne bola zvolená citlivosť prijímača – 160 dBm a -140dBm

a zisk antény 0 dB (parametre prijímačov vychádzajú z technickej špecifikácie modelov meracích prístrojov FSH4 resp. FSH18 R&S a NVR8). Tieto parametre nám definujú dosah signálu, ktorý je vysielaný rušičkou, ako aj parametre prijímača, ktorý signál prijíma a spracováva.

Následne sme vytvorili simuláciu rušenia pre RNP RWY 09, kde sme vybrali tri body – pozri obrázok č.4 A),B),C), preložením týchto čiastkových máp šírenia signálu vznikla výsledná mapa šírenia obrázok č.4 D), kde je vyznačená oblasť prekrytia signálom zo všetkých troch bodov. Na základe tejto simulácie vznikol priestor označený na obrázku 4 D) červenou farbou kde je vhodné inštalovať detektor rušenia GNSS signálu. Z tohto pohľadu sa nami zvolený bod NDB TATRY WEST javí ako vhodný pre detekciu rušenia ktoré je východné od uvedeného bodu. Nie je však vhodný pre detekciu rušenia signálu od bodu na obrázku č.4 A), preto meranie rušenia bude potrebné posunúť viac smerom na západ a umiestniť ho do obce Štrba.

Druhá simulácia bola vykonaná pre RNP RWY 27, kde sme vybrali dva body obrázok č.5 A), B), preložením týchto máp šírenia vznikla výsledná mapa šírenia obrázok č.5 C), kde je vyznačená oblasť prekrytia signálom z dvoch bodov. Nami zvolený a vypočítaný bod VOR/DME TATRY je pre tento úsek sledovania zvolený vhodne a môže byť použitý pre detekciu rušenia signálu GNSS.

Na základe vykonanej analýzy a následnej simulácie v prostredí programu Radio Coverage Tool od firmy Nautel Ltd. je možné konštatovať, že problém detekcie rušenia signálu GNSS v členitom teréne s rozsiahlou cestnou infraštruktúrou a obmedzeným množstvom bodov pre meranie môže spôsobiť nedostatočné pokrytie monitorovania kritických zón, tak ako sú určené na obrázku č.1 a obrázku č.2. Preto je potrebné postupovať obzvlášť opatrne pri analýze rizík, ktorá sa spracováva pri publikovaní týchto postupov. Je treba zvážiť, že jej spracovanie by malo byť vykonané vždy keď dôjde k rozšíreniu, alebo zmene dopravnej infraštruktúry resp. zväčšeniu aglomerácie, ktorá zasahuje do ochranného pásma daného rádionavigačného zariadenia v súlade s predpisom ICAO DOC 015.



Obrázok 4: Potencionálne riziko rušenia GNSS signálu na letisku Poprad pre dráhu 09. Zdroj: Autori.



Obrázok 5: Potencionálne riziko rušenia GNSS signálu na letisku Poprad pre dráhu 27. Zdroj: Autori.

5. Diskusia

Bezpečnosť, spoľahlivosť a kontinuita patria medzi hlavné priority leteckej dopravy. Pritom si je dôležité si uvedomiť, že pozemná infraštruktúra pre poskytovanie rádionavigačných služieb musí plniť prísne podmienky práve v týchto troch oblastiach. Zariadenia pre navigáciu pracujú v nepretržitej 24H prevádzke, pričom ich miera spoľahlivosti musí dosahovať min. 98% počas ich plánovanej doby životnosti podľa ICAO Annex 10. Pokiaľ pozemné terestriálne systémy, akými sú VOR/DME, ILS, sú zariadenia, ktoré pracujú na vyhradených frekvenciách a sú chránené. Satelitné navigačné zariadenia, boli pôvodne navrhované pre vojenské využitie a len čiastočne pre civilné letectvo, ktoré avšak nebolo pri návrhu prioritou. Až neskôr boli uvoľnené a schválené Medzinárodnou organizáciou pre civilné letectvo (ICAO) pre celosvetové použitie, s podmienkou že musí existovať záloha v prípade výpadku systému alebo jeho chyby. Problém závislosti systémov GNSS iba na jednom zdroji dát, ktorým je GPS L1 C/A je v značnej miere veľmi obmedzujúci z pohľadu bezpečnosti, spoľahlivosti a kontinuity leteckej dopravy. Z pohľadu ekonomickej efektívnosti sa takýto monopol v poskytovaní navigačných informácií na prvý pohľad môže zdať výhodný, ale má svoje limity z pohľadu potreby udržiavania rozsiahlej pozemnej a palubnej infraštruktúry založenej na konvenčnej navigácii VOR/DME, resp. DME/DME. Takto monopolne postavený GNSS iba na signál GPS L1 C/A, ktorý je málo odolný voči náhodnému rušeniu a zámernému rušeniu prenosového kanálu. Táto nízka odolnosť vychádza z použitej technológie pre vysielanie kódu C/A na frekvencii L1, ako aj z systému vysielania iba jednej frekvencie s použitím časového a kódového multiplexu. Napriek tomu naša simulácia poukazuje na fakt, že je možné prevádzkovať aj z pohľadu ekonomickej efektívnosti systémy GNSS, na prístrojové priblíženie s vysokou mierou bezpečnosti a kontinuity v prostredí s vysokou mierou rušenia a interferencie, za podmienky monitorovania stavu rušenia a možnosti včasného varovania posádky pred stratou navigačnej výkonnosti. Autori článku týmto preukázali, že súčasné administratívne riešenie nie je na dostatočnej úrovni bezpečnosti z pohľadu súčasných znalostí problematiky rušenia GNSS a technického rozvoja pozemných a satelitných navigačných systémov. Nakoľko pri analýze rizika sa vychádza faktov, že úmyselné rušenie signálu GPS L1 C/A je „zakázané a monitorované“ (Zákon 351/2011 §4 ods. 6) čo však nie je úplne pravda vzhľadom na fakt, že monitoring rušenia nie je plošne vykonávaný na celom území SR.

6. Záver

Zavedenie postupov GNSS na presné priblíženie na letiskách v Slovenskej republike, ktoré sú klasifikované ako priblíženia RNP (RNP APCH) (VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2018/1048) vyvolalo viacero otázok k bezpečnosti a spoľahlivosti používania týchto postupov. Napriek zavedeným systémom riadenia kvality a analýze rizika, nie sú do dnešného dňa zodpovedané všetky otázky bezpečnosti, spoľahlivosti a kontinuity poskytovania týchto služieb na letiskách. Na základe početných správ o rušení GNSS a znížením navigačného výkonu prijímačov GNSS GPS L1 C/A sme sa rozhodli uskutočniť analýzu možností umiestnenia detektora rušenia GNSS pre letisko Poprad-Tatry (LZTT) a navrhnuť priestor pre jeho umiestnenie na základe simulácie rušenia signálu, kde zdrojom je dopravná infraštruktúra. Je potrebné si uvedomiť, že bezpečnosť,

spoľahlivosť a kontinuita sú v leteckej doprave hlavnými prioritami pre zabezpečovanie služieb. Na základe výsledkov analýzy a simulácie, ako aj samotnej diskusie je možné formulovať odporúčania pre zvýšenie bezpečnosti a spoľahlivosti priblížení GNSS.

Navrhované odporúčania, v prípade schválenia letiska pre priblíženie s využitím GNSS je potrebné, aby analýza rizika mala iba obmedzenú dobu platnosti a musela byť vykonávaná v pravidelných intervaloch. Inštalačné kalibračné meranie by malo dokumentovať počiatkový stav a zmapovať možnosti a hrozby a analyzovať riziká zavedenia GNSS.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný v rámci projektu **KEGA 011ŽU-4/2018** „Nové technológie vo vzdelávaní v študijnom programe *Letecká doprava a Profesionálny pilot*“.

Referencie

- Brida, P., Machaj, J., Benikovsky, J. (2014). A modular localization system as a positioning service for road transport. *Sensors (Switzerland)*, 14(11), 20274-20296. doi:10.3390/s141120274
- Brida, P., Mlynka, M., Machaj, J. (2013). How to solve GNSS problem in critical environment? Paper presented at the INES 2013 - IEEE 17th International Conference on Intelligent Engineering Systems, Proceedings, 27-31. doi:10.1109/INES.2013.6632835
- Catlos, M., et. all. (2018). Continual monitoring of precision of aerial transport objects. Paper presented at the NTAD 2018 - 13th International Scientific Conference - New Trends in Aviation Development, Proceedings, 76-81. doi:10.1109/NTAD.2018.8551683
- Curran T.J et.all. (2017). A Look at the Threat of Systematic Jamming of GNSS, *Insied GNSS*, September/October 2017, S 46-53. Source: <http://insidegnss.com/auto/sepoc17-CURRAN.pdf>
- Dunkel, W., Butsch, F. (2000): *GNSS Monitoring and Information Systems at Frankfurt Airport,* ION GNSS, Salt Lake City, UT, 2000
- EUROCONTROL, (2018). Eurocontrol helps build consensus on how dual frequency multi-constellation GNSS will be used in aviation. Source: <https://www.eurocontrol.int/news/moving-one-gps-signal-eight-signals-four-constellations> (Date: 07.10.2019)
- Geoffrey, T. (2018). Landing The Most Dangerous Phase of Flight, *AirlineRatings*, Source: <https://www.airlineratings.com/news/passenger-news/landing-dangerous-phase-flight/> (Date: 7.10.2019)
- Kováčik, L., Novák, A. Lusiak, T. (2019): Measurement of GNSS Interference at Airport Zilina, *AEROjournal*, Issue 2, Volume 14, <http://doi.org/10.26552/aer.C.2019.2.1>

- Kraus, J., Pleninger, S., & Hospodka, J. (2019). Methodology for positioning of GNSS interference detector. Paper presented at the ICMT 2019 - 7th International Conference on Military Technologies, Proceedings, doi:10.1109/MILTECHS.2019.8870015
- Novák, A., Havel, K., Bugaj, M. (2018a). Measurement of GNSS signal interference by a flight laboratory In: INAIR 2018, Aviation on the Growth Path. - ISSN 2352-1465. - Hainburg: Elsevier, 2018. - s. 271-278
- Novák, A., Skultéty, F., Kandra, B., Lusiak, T. (2018b). Measuring and testing area navigation procedures with GNSS. Paper presented at the MATEC Web of Conferences, 236 doi:10.1051/mateconf/201823601004
- Novák A., et all. (2019) GNSS signal interference and its impact on safety of air transport In: Zvyšovanie bezpečnosti a kvality v civilnom letectve. - ISSN 2644-495X. - Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2019. - ISBN 978-80-554-1549-9. - s. 81-84
- Rostáš, J., Škultéty, F. (2017). Are today's pilots ready for full use of GNSS technologies? Paper presented at the Transportation Research Procedia, 28 217-225. doi:10.1016/j.trpro.2017.12.188
- VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2018/1048, ktorým sa stanovujú požiadavky na využívanie vzdušného priestoru a prevádzkové postupy týkajúce sa výkonnostnej navigácie, z 18.júla 2018
- Zákon č. 351/2011 Z. z. o elektronických komunikáciách, z 14. septembra 2011.
- ICAO DOC 8168, Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations,

VPLYV PODSVIETENIA PALUBNÝCH PRÍSTROJOV NA PILOTOV

THE IMPACT OF BACK LIT AIRCRAFT INSTRUMENT ON PILOTS

Iveta Škvareková

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

Andrea Brezoňáková

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

Branislav Kandra

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

Abstrakt

The Flight deck of a modern transport category aircraft is a highly refined, ergonomically; rigorously organised workplace. In such a small area, an extraordinary amount of information is required for the pilot to work, control and monitor the aircraft systems. With technological advances, however, the aircraft has become more and more complex and in some cases over automated. The amount of available information has increased and the limiting factor became how to efficiently display this information. Larger flight instrument displays have replaced conventional, analogue, instruments and can be combined with touch screen efficiency tools. Their ever-increasing size brings with them issues relating to light emissions and eye absorption. This research paper complements the current study and measurement of stress, fatigue and human factors with respect to increasing artificial light intensity experienced by Pilots on the Flight Deck. The authors present the results of several measurements taken using a flight simulator. For the purpose of our research, we decided to use eye monitoring technology to record eye movements to determine the pilot's performance. Eye monitoring provides data on the number of eye movements, fixations and the durations of these. The research results provide Air Operators, Airlines and aeronautical designers with valuable data on human behaviour and the reactions to Flight Deck environmental changes.

Kľúčové slová

Glass cockpit, Back lit, Pilots Performance, Eye Tracker, Aircraft Instruments

1. Úvod

Mentálna záťaž pilota je hlavným aspektom pri navrhovaní a prevádzke moderných leteckých systémov. V minulosti pilot získaval potrebné letové informácie na základe pozorovania vonkajšieho sveta. S postupným technologickým rozvojom sa však lietadlo stávalo čoraz zložitejšie, počet potrebných informácií narastal a limitujúcim faktorom sa stalo rozloženie kokpitu. „Dosiahol sa vývojový bod, v ktorom nie je možné zvýšiť počet ukazovateľov, čísel a signalizácií alebo zlepšiť ich rozloženie“ (Coombs, L.F.E., 1990).

Prelom vo vzhľade kokpitu sa objavil v 60. rokoch minulého storočia, kedy sa obrazovky s katódovými rúrkami (CRT-Cathode Ray Tubes) stali praktickými pre použitie v kokpite (Coombs, 1990). Vzhľadom k tomu, že vzhľad displeja už nie je obmedzený fyzickými obmedzeniami pri premiestňovaní elektromechanického indikátora, CRT umožnili inovatívne zobrazovacie formáty- niekoľko displejov na rovnakej CRT obrazovke v rôznych časoch (prepínanie módov). CRT obrazovky boli skvelým riešením problému, ktorý predstavoval limitujúci priestor v kokpite. Po technológií CRT nasledovali displeje s tekutými kryštálmi (LCD- Liquid- Crystal Display), ktoré taktiež umožnili flexibilné multifunkčné formáty a vyriešili hlavné nedostatky CRT displejov (Wimalasundera S., 2006).

Zavedenie LCD displejov umožnilo flexibilné viacformátové displeje a splnilo úroveň pozorovacieho uhla a jasú pre použitie v kokpite. Táto požiadavka bola vytvorená z dôvodu neustáleho zvyšovania informácií, ktoré má spracovať pilot počas letu.

Používanie integrovaných LCD displejov sa v komerčnej a vojenskej leteckej doprave rýchlo rozšírilo, a to najmä z dôvodu ich vysokého rozlíšenia, nižšej energie a požiadaviek na chladenie, s dostatočným jasom aj v letovej palube zaliatej slnkom. Prudké zníženie počtu prístrojov pred pilotom významne zlepšuje pohodlie pilota vyplývajúce z pocitu väčšej istoty priestorového a pozičného vedomia. V súčasnosti má najmodernejšie komerčné lietadlo LCD „sklenené kokpity“ s displejmi, ktoré uprednostňujú informácie a zjednodušujú pracovné zaťaženie pilotov (Livada B., 2012).

Okrem toho sa do pilotnej kabíny najmodernejších dopravných lietadiel inštalujú displeje typu Head-Up-Displays (HUD). Výhoda je vidieť v obmedzení pohybov očí medzi displejmi pilotného priestoru a vizuálnou letovou cestou, najmä pri postupoch LVP/LVO pri slabšej viditeľnosti (Livada B., 2012).

Automatizácia a zobrazovanie prístrojového vybavenia rieši niektoré významné problémy, ale prináša aj nové problémy, ktoré môžu ovplyvniť výkon pilota a tým ovplyvniť bezpečnosť letu.

2. Vizuálna pozornosť za slabého a jasného osvetlenia

Za podmienok slabého osvetlenia sa letecké mapy a palubné prístroje môžu stať ťažko čitateľné pokiaľ nie je k dispozícii dostatočné osvetlenie. V tme sa videnie stáva citlivejšie na svetlo. Tento proces sa nazýva adaptácia na tmu (dark adaptation) (Vohnsen B. a kol. 2005). Napriek tomu, že k úplnej adaptácii dochádza po 30 minútach, môže pilot dosiahnuť mierny stupeň adaptácie už po 20 minútach pri osvetlení

pilotnej kabíny slabým červeným svetlom. Červené svetlo deformuje farby (filtruje červené spektrum), najmä na leteckých mapách, a preto je pre oči veľmi náročné sústrediť sa na objekty vo vnútri lietadla. Piloti by ho mali používať len vtedy, keď je potrebná optimálna schopnosť vonkajšieho nočného videnia. Biele osvetlenie kabíny (slabé osvetlenie) by malo byť dostupné, ak je potrebné pre zobrazenie mapy a prístrojov, najmä v podmienkach IMC (FAA, 2012).

Keďže v priebehu niekoľkých sekúnd pozorovania jasného svetla dochádza k strate akéhokoľvek stupňa adaptácie, piloti by mali zatvoriť jedno oko pri používaní svetla na zachovanie určitého stupňa nočného videnia. Počas nočných letov v blízkosti bleskov by sa mali rozsvietiť svetelné indikátory, aby sa zabránilo oslneniu pilotov v dôsledku jasných zábleskov (Turiak M. a kol. 2014). Adaptácia býva tiež zhoršená prekročením tlakových nadmorských výšok nad 5 000 stôp, fajčením, nedostatkom vitamínu A v strave a dlhodobému vystaveniu jasnému slnečnému žiareniu (Frische F., 2011).

3. Metodika merania

Meranie mentálnej záťaže pilota je subjektívne a ťažko merateľné v reálnom čase. Predchádzajúce výskumy ukázali, že existuje úzke prepojenie medzi mentálnou záťažou pilota a jeho očnými pohybmi (Causse M. a kol, 2011). Predpokladáme, že rôzna intenzita podsvietenia ovplyvní veľkosť očnej zrenice. Neustále prispôbovanie očí pilotov má za následok zvýšenie vizuálnej únavy, najmä v súvislosti s dlhšou expozíciou umelo osvetlenému prostrediu.

3.1. Letový simulátor a scenár testovania

Naše merania sa uskutočnili na letovom simulátore L-410 UCP-E20, ktorý sa nachádza na letisku Žilina, Dolný Hričov. Letecký simulátor L-410 je vybavený dvoma turbovrtuľovými motormi s možnosťou zavedenia spätnej väzby. Simulátor disponuje moderným „glass kokpitom“ a je schopný simulovať štandardné poruchy daného typu letúna. Simulátor spĺňa požiadavky kladene na simulátor kvalifikácie „FTD Level 2“ a zároveň FNPT II MCC v zmysle štandardov CS-FSTD (A) a platných predpisov a noriem platných v SR.



Obrázok 1 Letový simulátor L-410 UVP-E20. Zdroj: Autori.

Simulátor obsahuje prístroje a avioniku pre dennú aj nočnú prevádzku. Pre potreby nášho výskumu sme sa rozhodli zaletieť nie-presné prístrojové priblíženie NDB (Non Directional Beacon) pre vzletovú a pristávaciu dráhu 06 na letisku Žilina,

Dolný Hričov. Simulátor bol počas merania nastavený na nočný režim.

3.2. Meracie zariadenia

Poznáme rôzne možnosti sledovania očných pohybov. V našom prípade sme využili technológiu SMI Eye Tracking Glasses 2 Wireless, ktorá je z hľadiska bezpečnosti a relevantnosti výsledkov vyhovujúca, pretože je u nej najnižšie riziko rozptýlenia pozornosti pilota počas letu. Testovaný pilot si nasadí okuliare, ktoré majú minimálny vplyv na jeho výkon a neobmedzujú ho v žiadnej činnosti.

Okuliare na sledovanie očných pohybov SMI 2 Wireless (SMI ETG 2w) sú navrhnuté na zaznamenávanie prirodzeného ľudského pohľadu v reálnom čase. Okuliare sa dodávajú s malým rekordérom, v podobe telefónu Samsung Galaxy Note 4, na ktorý sú zaznamenávané údaje sledovaných používateľov. Zariadenie sleduje očné pohyby na binokulárnom princípe s automatickou kompenzáciou paralaxy.

Softvér Behavioral and Gaze Analysis (SMI BeGaze) zjednodušuje analýzu monokulárnych a binokulárnych údajov. Umožňuje analyzovať informácie získané pomocou zariadenia ETG v podobe grafov prípadne videí. Písmená na obrázku nižšie označujú umiestnenie troch kamier: (a) – kamera zaznamenávajúca prostredie, (b) – kamery zaznamenávajúce očné pohyby.



Obrázok 2 SMI ETG 2w. Zdroj: (Holmqvist, et al., 2011).

3.3. Participanti

Naše merania zahŕňali dvoch profesionálnych pilotov s rôznymi letovými skúsenosťami. Pilot 1 má nalietaných 7 000 hodín na rôznych typoch B737, zatiaľ čo pilot 2 má nalietaných 1 500 hodín ako letový inžinier, 1 000 hodín na lietadle HS-125 a tisíce hodín ako letový inštruktor na letových simulátoroch B747 a B787. Obaja piloti prehlásili, že noc pred meraním spali asi šesť hodín. Piloti vykonali dva nie-presné NDB priblíženia, kde I-Pad mini bol spočiatku nastavený na najnižšiu intenzitu osvetlenia kokpitu, v prípade druhého priblíženia bol I-Pad mini spolu s prístrojovým vybavením kokpitu nastavený na maximálnu intenzitu osvetlenia.

Pred začiatkom merania piloti absolvovali 30 minútový zoznamovací let. Účelom tohto letu bolo oboznámiť účastníkov s konkrétnymi ovládacími prvkami simulátora, a taktiež dostatočný čas adaptácie oka na podmienky v kokpite simulátora.

4. Výsledky merania

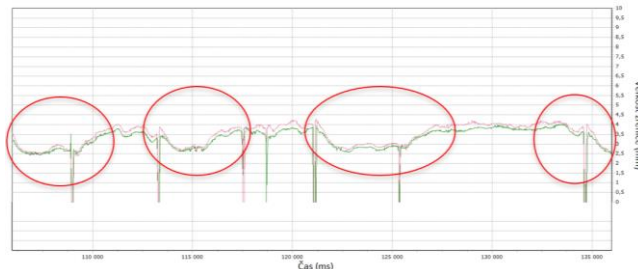
Surové dáta zo zariadenia eye track sme spracovali pomocou softvéru BeGaze. Pred samotnou analýzou sme si museli vyselektovať časové intervaly, ktoré sme následne spracovali do finálnej podoby. Rozhodli sme sa jednotlivé údaje

rozdeliť podľa intenzity nastavenia jasu, doby letu a skenovania kokpitu. Výsledkom je zobrazenie pomocou grafov, na ktorých je možné vidieť veľkosť priemeru zrenice na ľavom a pravom oku v určitom časovom horizonte. Nulové hodnoty v grafe predstavujú chyby, ktoré vznikli počas merania (kamera nedokázala sledovať očné pohyby pilota a pod.) a žmurknutia.

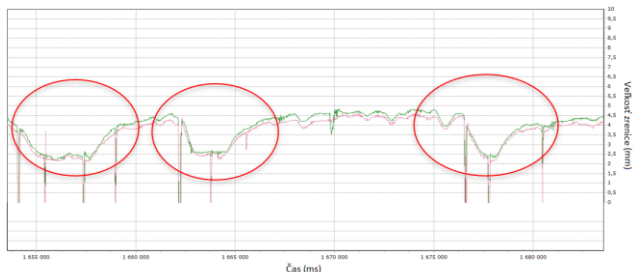
4.1. Najvyššia intenzita jasu

Analyzovaním údajov zo zariadenia sme si vytvorili graf, ktorý zobrazuje veľkosť pomeru zrenice pravého a ľavého oka, počas merania s najvyššou intenzitou podsvietenia I-Pad. Jednalo sa o počiatočnú fázu priblíženia, kedy pilot prechádzal pohľadom z prístrojov na I-Pad. Z grafov je viditeľné, kedy došlo k zúženiu priemeru zrenice pri prechode na I-Pad. Nasledujúce grafy zobrazujú sledované veličiny:

- pri pilotovi 1 došlo k prechodu pohľadu z prístrojov na I-Pad štyrikrát (Graf 1),
- pri pilotovi 2 došlo k prechodu pohľadu z prístrojov na I-Pad trikrát (Graf 2).



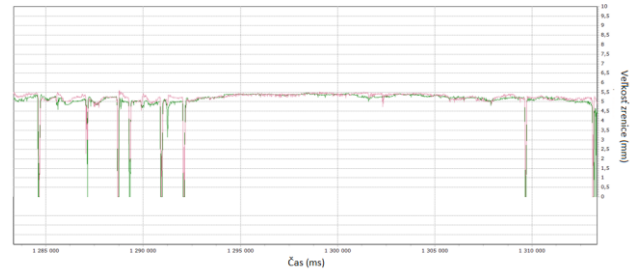
Graf 1 Pilot 1 prechod pohľadu medzi I-Pad mini a prístrojovou doskou pri najvyššej intenzite podsvietenia. Zdroj: Autori.



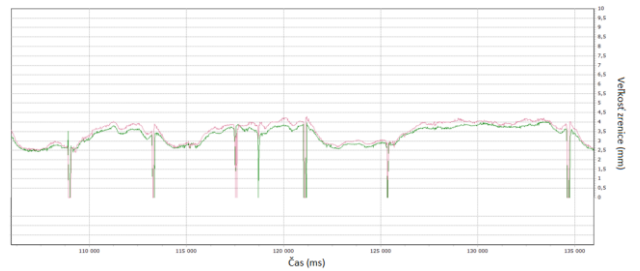
Graf 2 Pilot 2 prechod pohľadu medzi I-Pad mini a prístrojovou doskou pri najvyššej intenzite podsvietenia. Zdroj: Autori.

4.2. Porovnanie veľkosti priemeru zrenice pri najnižšej a najvyššej intenzite nastavenia

Pri porovnaní grafov u participanta 1 v počiatočnej fáze priblíženia pri skenovaní I-Pad mini a prístrojov pri najnižšej a najvyššej intenzite nastavenia jasu je na Grafe 3 vidieť minimálne odchýlky priemeru zrenice. Sú viditeľné minimálne odchýlky v počiatočnej fáze nasledované nepretržitým sledovaním prístrojov, kde nie je zaznamenaná žiadna zmena veľkosti zrenice. Je vidieť preukázateľný rozdiel vplyvu nastavenia osvetlenia pri porovnaní prechodu z I-Pad mini na prístroje pri rôznych stupňoch nastavenia jasu.



Graf 3 Pilot 1 najnižšia intenzita podsvietenia počas skenovania I-Pad mini a prístrojovej dosky. Zdroj: Autori.



Graf 4 Pilot 1 najvyššia intenzita podsvietenia počas skenovania I-Pad mini a prístrojovej dosky. Zdroj: Autori.

5. Záver

Zo všetkých zmyslov je videnie najdôležitejšie pri poskytovaní informácií na udržanie bezpečného letu. Hoci je ľudské oko optimalizované pre denné videnie, je schopné vidieť aj v prostredí s veľmi slabým osvetlením. (Brezonakova A. a kol. 2019)

Správna optimalizácia výstupov prístrojovej dosky ako je intenzita podsvietenia, audiovneov a komfort pilotáže ako komplex, vplyva na pracovnú výkonnosť a prípadný stres posádky. Stresové prostredie môže mať negatívny dopad na rozhodovací proces. Nesprávna interpretácia informácií z leteckých prístrojov spôsobená zlým nastavením osvetlenia, môže byť zdrojom mnohých pochybení (Novák A., Mrázová M., 2015).

Článok experimentálne overil vplyv nastavenia intenzity podsvietenia prístrojovej dosky a doplnujúcich zariadení (Ipad, GPS) počas letu a jeho priamou úmerou medzi sledovanými parametrami oka. Výsledkami meraní sú grafy zobrazujúce adaptáciu zrenice oka pilota, ktorá sa s prechodom medzi rôznou intenzitou svetla prispôbuje na aktuálne svetelné podmienky. Analýzou sledovaných parametrov oka ako sú (sakády, žmurkanie, fixácie a dwell time) počas rôznych svetelných podmienok autori dospeli k záveru, že existuje priamy vplyv na veľkosť intenzity podsvietenia prístrojovej dosky najmä počas dlhých nočných letov. Záverom a výsledkom článku je potvrdenie počiatočnej hypotézy a teda zahrnutie vplyvu neefektívnej intenzity podsvietenia prístrojov a následne spôsobenie zvýšenej únavy pilotov v dôsledku namáhania zrakového orgánu (Caldwell J.A., 2005).

Záverom a ďalším odporúčaním pre budúce výskumy je optimalizácia nie len zrakových vnemov, ale celého komplexu podnetov pôsobiacich na pilota počas rôznych fáz letu pre zvýšenie komfortu pilotáže a elimináciu stresových činiteľov. Vďaka predošlým výskumom bolo preukázané, že existuje úzke prepojenie medzi mentálnym zaťažením pilota a očnými

pohybmi. Očné pohyby poskytujú informácie o pracovnej záťaži a situačnom povedomí pilota. Podľa týchto štúdií ak pilot nemá prispôbené optimálne podmienky alebo sa počas letu stretáva s určitými ťažkosťami, výkon sa zhoršuje a činnosť pohybov očí sa mení. Vo väčšine prípadov sa menia parametre fixácie, najmä dĺžka a frekvencie fixácií. Dĺžka fixácie je prvým parametrom, ktorý sa mení pôsobením stresu na pilota (Causse M. a kol., 2011). Prístup využitia technológie eye track je vhodný, keď autor posudzuje len stratégiu rozloženia pozornosti počas letu, avšak z pohľadu výkonnosti a mentálneho pracovného zaťaženia je táto metóda nedostatočná. Preto by sme chceli do budúcnosti naše merania zopakovať s využitím technológií na meranie psychofyzických parametrov ako sú napr. EEG alebo Heart Rate.

6. Referencie

- Brezonakova, A., Skvarekova, I., Pecho, P., Davies, R., Bugaj, M., Kandra, B. 2019 The effects of backlit aircraft instrument displays on pilots fatigue and performance. In: Transportation Research Procedia. Volume 40, 1273-1280.
- Caldwell, J.A. Fatigue in Aviation. In Travel Medicine and Infectious Disease, 2005.3, 85-96.
- Causse, M., Dehais, F., Arexis, M., Pastor, J., 2011. Cognitive aging and flight performances in general aviation pilots. Aging, Neuropsychology, and Cognition: A Journal on Normal and Dysfunctional Development, 18.5, 544-561.
- Coombs, L.F.E., 1990. The Aircraft Cockpit - From stick-and-string to fly-by-wire. In: Patrick Stephens Limited, Wellingborough.
- Frische, F., Osterloh, J.-P., Luedtke, A., 2010. Simulating Visual Attention Allocation of Pilots in an Advanced Cockpit Environment. In: OFFIS - Human Centered Design Group, 14th October 2010.
- Galierikova, A., Materna, M., Sosedova, J. 2018. Analysis of risks in aviation. Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2018-October, pp. 1427-1431
- Holmqvist, K., Nystrom M., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H., 2011. Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. Oxford University Press
- Livada, B., 2012. Avionic Displays. Scientific Technical Review, 62.3-4, 70-79.
- Novak, A., Mrazova, M., 2015. Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 17.3, 103-107.
- Turiak, M., Novák-Sedláčková, A., & Novák, A., 2014. Portable electronic devices on board of airplanes and their safety impact.
- Vohnsen, B., Iglesias, I., Artal, P., 2005. Guided light and diffraction model of human-eye photoreceptors. Journal of the Optical Society of America A, 2005.22, 2318-2328 .
- Wimalasundera, S., 2006. Computer Vision Syndrome. Galle Medical Journal 11.1, 26-29.

UPGRADE 3D MODELU HRIČOVSKÉHO HRADU Z REÁLNYMI TEXTÚRAMI

UPGRADE 3D MODEL WITH REAL TEXTURES OF HRIČOV CASTLE

Tomáš Cesnek
 Republiky 1032/36
 Žilina 010 01
 cesnek.tomas@gmail.com

Martin Decký
 Katedra cestnej dopravy
 Žilinská univerzita v Žiline
 Univerzitná 8215/1
 010 26, Žilina
 martin.decky@uniza.sk

Martin Pitoňák
 Centrum excelentnosti pre dopravné
 staviteľstvo SvF UNIZA
 Žilinská univerzita v Žiline
 Univerzitná 8215/1
 martin.pitonak@uniza.sk

Abstract

The authors present the outputs of a 3D model with real textures of Hričov Castle from 2019 and its improvements from 2020. In creating the model, SvF UNIZA' devices obtained within the project Broker center of air transport for transfer of technology and knowledge into transport and transport infrastructure ITMS 26220220156 were used. The 3D model of Hričov Castle created by Ing. Tomáš Cesnek, currently presents one of the most realistic Slovak digital 3D models created by laser scanning technology. The 3D model will be a part of the permanent exhibition of Hričov Castle in the historical toll building from 1556 in Dolný Hričov.

Keywords

Via magna, Hričov castle, 3D model with real textures, medieval manor house, historical toll building

1. Úvod

Už v slovanskom období predpokladá A. Petrovský-Šichman na Považí sieť hlavných ciest (obr.1), ale aj väčšie množstvo horských priechodov, zjazdných peši alebo koňmo.



Obrázok 1: Trasy ciest v 13. až 15. st. Zdroj: (Bednár, Staneková, Šimko 2019)-

Popri Váhu viedla ľavobrežná i pravobrežná cesta, v súčasnosti v tomto koridore prechádza diaľnica D1 (obr.2), prichádzajúce od Púchova a Považskej Bystrice, popri ktorých bolo husté osídlenie s centrom v Divinke.



Obrázok 2: Pohľady z Považského hradu na diaľnicu D1 z 30.6.2019. Zdroj: (Pitoňák).

V 13. storočí tu tak nachádzame sieť starších existujúcich komunikácií, ktoré vďaka spisomňovaniu dokážeme potvrdiť v listinách. Zmienku máme v metácii zemí Bytča a Kotešová z roku 1234, konkrétne sa v listine spomína most pod horami a zároveň nad Váhom, ktorý mohol patriť veľkej ceste vedúcej Považím od Bytče k Budatínu. Cesta, ktorá viedla po ľavom brehu Váhu, bola v tom čase o niečo menej významná. Na viacerých miestach bola iste prepojená s veľkou cestou na pravom brehu, minimálne pri Trenčíne a pri Budatíne. V roku 1268 sa spomína prevoz cez Váh medzi Bytčou a Hrabovým. Ďalej máme veľkú cestu zachytenú pod názvom *via magna* v metácii zeme Kysuce v roku 1244. Z uvedenej metácie vyplýva, že ide o lokalitu severne od Váhu, čiže niekde pri neskoršom Považskom Chlmcí smerom k Divinke. Tiež sa tu spomína brod pod názvom *Brodí sew Lopata* (Zdroj: Bednár, Staneková, Šimko 2019).

Z hľadiska cestného hospodárstva je zaujímavý údaj o výbere mýta v Budatíne, ktoré sa prvýkrát spomína v roku 1321. Možno predpokladať, že budatínske mýto vzniklo po postavení hradu a z jeho príjmov sa hradila údržba ciest, mosta a prevozu alebo kompy zabezpečujúca spojenie do Žiliny.



Obrázok 3: Mapa mostov cez Váh od Michala Ruttkaya-Nedeckého z roku 1749. Zdroj: (zbierka PMZA).

V 14. storočí sa cesty stabilizovali a následný vývoj ukázal, že v týchto polohách vo väčšine prípadov aj pretrvali. Nemenili sa ani polohy mýtnic, ktoré máme stabilne doložené pre Budatín i v 14. storočí (Zdroj: Bednár, Staneková, Šimko 2019). Prvá zmienka o moste v Budatíne je 23. februára 1499. upravovala vzťah medzi mestom Žilina a pánmi v Budatíne vo veci výstavby mosta. Presnú polohu mosta vieme rekonštruovať na základe súdneho sporu medzi Žilinou a Antonom Sugoňom, ktorý trval v rokoch 1745 – 1752. Zachované svedectvá však opisujú situáciu od konca 17. storočia. Poloha mostov je zrejmá aj zo známej mapy Ruttkaya-Nedeckého (obr.3), ktorá vznikla v súvislosti so sporom.

2. Dopravné pamiatky obce Dolný Hričov

Druhou najstaršou budovou v obci Dolný Hričov je kaštieľ - mýtnica z roku 1556, ktorej vznik bezprostredne súvisí s Hričovským hradom nachádzajúcim sa v obci Hričovské Podhradie. Bola jednoposchodová, pod poschodím sa nachádzal priechod, kde sa vyberalo mýto. Mala pôdorys obdĺžnikového tvaru, na každom rohu bola fortifikačná bašta (veža), kde sídlil mýtnik s ozbrojenou strážou. V budove boli staviská – šopy, kde mohli povozníci prenocovať a tiež hostinec, kde dostali občerstvenie. Historická podoba kaštieľa je zobrazená na malbe miestneho učiteľa Pavla Midulu nachádzajúcej sa na stene budovy (obr.4).



Obrázok 4: Pohľad na pôvodnú mýtnicu, s priechodom cez budovu, na obraze učiteľa Pavla Midulu v prízemí budovy. Zdroj: (Decký).

Priechod cez budovu bol zrušený začiatkom 19. storočia, na začiatku 20. st. ju od majiteľa baróna Poppera odkúpilo urbárske spoločenstvo a previedlo na budove väčšie úpravy. Zbúralo 3 bašty, jedna zostala zachovaná až do r. 1955-1956, kedy bol odstránená v rámci adaptácie budovy. Budova je národnou kultúrnou pamiatkou, sú v nej zachované gotické klenby v prízemnej časti. Kaštieľ bol v 50. rokoch 20. storočia prerobený na kultúrny dom. Staviteľom budovy mýtnice bol Ján Kilian, pôvodom z Talianska, ktorý postavil aj Bytčiansky kaštieľ.

V súčasnosti v spolupráci Mgr. Jozefa Miháľika, zástupcov Stavebnej fakulty UNIZA a miestnej samosprávy obce Dolný Hričov (obr.5), pracovníkmi Pamiatkového úradu prebieha v mýtnici intenzívny historicko archeologický výskum.



Obrázok 5: Pohľady na odkryté pôvodné priestory mýtnice. Zdroj: (Decký.)

Hričovskí hradní páni vyberali mýto od furmanov a kupcov. Z roku u 1483 pochádza listina o vyberaní mýta v Dolnom Hričove, dá sa predpokladať, že mýto sa tu vyberalo už pred týmto rokom. Napríklad kráľ Matej Korvín už v roku 1469 zakázal Hričovskému hradnému pánovi vyberať mýto od žilinských kupcov. Na obr. 6 je zoznam spisov týkajúcich sa mýta v Dol-nom Hričove, Čadci, Strečne, Ošadnici a Veľkej Bytči, ktoré odovzdala vnútená správa veľkostatkú Hermíny Popperovej v Bytči Muzeálnej slovenskej spoločnosti v Martine v r.1938



Obrázok 6: Zoznam spisov súvisiacich s mýtom v Dolnom Hričove. Zdroj: (Štátny archív v Bytči, panstvo Bytča, k.80).

Na obr. 7 je uvedený sken Nariadenia o mýtnych poplatkoch v Dolnom Hričove z roku 1724. Kupci sa všemožne snažili vyhýbať sa mýtnym poplatkom, používaním postranných ciest, hoci to bolo prísne zakázané pod pokutou zhabania tovaru, záprahov i povozov.

Originálny text z roku 1724	Prepis
	<p>Nariadený Vechgah nebo vyplacený mýta Delova Hričove k panského a slovenského Trosanského dočasně viděno</p> <p>Od wsa s wozem s wozem kopaczkým pomoci shoda wstacy obděláno 4 20 Krom toho od každého kopyra wozem započteného wstacygacze aslowého 6 6 Od wsa se sřoben a gubany wozem menší obděláno 4 20 Od každého pal loda v tom započteno krom wstacy 4 Od wsa s wozem predpřáhaný wstacy obděláno 20 Mimo toho od každého para wozow v nem predpřáhaných 4 Od wsa wstacygacze, neb sřobowaczký shodim sřoběleno 12 Od každého pal kopyra, neb para wozow w sam predpřáhaných 2 Od každého kopyra wstacy kopaczký obděláno 4 Od kopyra obděláno menšího jako jet shoda 4 Od lon, každou wstacy se obděláno sřob shodow pšobán 4 Od každého wsa obděláno wstacy shodow trzého 2 Od wsa trzého sřob shodow shoděno 2 Od každé lewry 1 1/2 Od wstacy s kowz kopaczký 1 Od wstacy s kowz na 4 pro wstacygacze shoděno 1 Od kopaczký hawow linnich na 2 1 Od shoděno 1 1/2 Od wstacy kopaczký 1 Od wstacy shoda a sřob wstacy tomu podobného menšího 1</p>
	<p>Datum v slobodnom kralovskom meste Trenčín v piatok po 2. denáro po Štátnom Duchtu alebo 23. mesiacu júlia v čase a za generálnej kongregacie a rokování o preberaní sejmáčsky a pšebírání v roku pánu 1724</p>

Obrázok 7: Príklad poplatkov z r. 1724 vyberaných v mýtnici v Dolnom Hričove. Zdroj: (Štátny archív v Žiline so sídlom v Bytči a Decký 2020).

3. Stručne o Hričovskom hrade

Podľa zverejnených údajov sa Hričovský hrad v historických dokumentoch spomína v roku 1265 ako castrum Hrichou, 1271 Hrychov, 1272 Herychou, 1370 Riczo, 1392 Hrichou. Najstarší údaj o Hričove je z roku 1208, keď sa spomína ako majetok nitrianskeho biskupstva a prvá dochovaná zmienka o Hričovskom hrade je z roku 1265. Na začiatku 14. storočia bol zemepánom celého hradného panstva Matúš Čák Trenčiansky. V 1563 ho kúpou získal František Thurzo, ktorý ale centrum Hričovského panstva preniesol do Bytče. Posledných stavebných úprav sa hrad dočkal v roku 1621 (Zdroj: Obec Dolný Hričov 2008).



Obrázok 8: Medirytina Hričovského hradu od J. Nypoorta (1625-1692) z roku 1686. Zdroj: (Justus van der Nypoort 1686).

Medirytina holandského umelca J. Nypoorta z roku 1686 (obr.8) prezrádza, že hrad stojaci na stále nezalesnenom vršku bol pomerne zachovaný, na kresbe vidieť 32 okien. V 1627 získal hrad Mikuláš Esterházi, od 17. storočia bol hrad pustý a v polovici 19. st. ho od Esterháziovcov kúpil barón Leopold Popper z Bytče.

Združenie priateľov Hričovského hradu vzniklo 7.7.2010 a venuje sa konzervácii a obnove hradu Hričov (obr. 9 a 10) pod dohľadom KPÚ Žilina a tiež zabezpečuje realizáciu potrebných výskumov.



Obrázok 9: Stav okien západného paláca Hričovského hradu pred obnovou a po obnove z roku 2017. Zdroj: (Mihálik, Takáčová 2017).



Obrázok 10: Stav západného okna predného paláca pred obnovou, počas obnovy a po obnove v roku 2016. Zdroj: (Mihálik, Takáčová 2017).

4. Tvorba 3D modelu Hričovského hradu s reálnou textúrou

V rámci spolupráce Ing. Tomáša Cesneka z Katedry geodézie Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline je od roku 2018 vytváraný 3D model Hričovského hradu s reálnymi štruktúrami. Pri geodetickom zameraní Hričovského hradu bol používaný viacúčelový, dvojosý, statický laserový prístroj od firmy Leica - rotačný laserový skener Leica ScanStation C10. Ako celá séria Scanstation aj Leica C10 je kompaktný All-in-one laserový prístroj, dosahujúci vďaka veľmi malej uhlovej odchýlke a vysokej presnosti merania vzdialenosti, veľmi vysokú výslednú 3D presnosť skenovaných bodov. Tieto laserové skenery vytvárajú husté mračno bodov, pomocou merania odrazu stopy laserového lúča, ktorý je rozmetaný do priestoru rotujúcim odrazovým hranolom s technológiou Smart X - Mirror.



Obrázok 11: 3D model Hričovského hradu po odstránení vegetácie – západná strana, hore model z roku 2019, dole z 2020. Zdroj: (Cesnek).

Geodetické zameranie historických objektov, akými sú staré hrady, zámky, resp. ich zrúcaniny je zvlášť náročná činnosť. Je to dané najmä ich zložitou architektúrou, ktorá musela rešpektovať príslušné umelecké slohy a predstavy pôvodných staviteľov ako aj často náročné prírodné podmienky, v ktorých sa stavba budovala. Niektoré z týchto objektov boli navyše často zničené a obnovené boli len z časti alebo vôbec. Tvar takýchto objektov je zväčša nepravidelný, v miestach kde chýba omietka je ťažké určiť rohy, navyše steny majú rozličné hrúbky a len veľmi zriedka sú rovinné či pravouhlé.

Všetky tieto aspekty takmer úplne vylučujú použitie klasických geodetických metód na geodetickú dokumentáciu historických objektov. S vynálezom 3D laserových skenerov došlo k významnému zlepšeniu merania a dokumentácie historických

objektov. Pomocou týchto zariadení dokážeme zachytiť milióny bodov vo veľmi krátkom čase. Preto môžeme previesť skenovaný objekt kompletne celý do digitálnej podoby a požadované výstupy tvoriť až dodatočne pri spracovaní. Takýmito výstupmi môžu byť jednotlivé pohľady, pôdorysy, rezy, podrobné zameranie okien, sôch, stropov, klenby a podobne.



Obrázok 12: 3D model Hričovského hradu po odstránení vegetácie – východná strana (vľavo) a pôdorysný pohľad 3D modelu. Zdroj: (Cesnek, Decký, Míhálík 2019).

V posledných rokoch, s výrazným nárastom výpočtových možností bežne dostupných počítačov sa stal veľmi vyhľadávaným výstupom celkový 3D model objektu s reálnymi textúrami. Tvorba reálnych textúr je ďalším s výhod 3D laserového skenovania objektu, nakoľko skener okrem zamerania polohy bodov objektu vie zachytiť aj ich farbu v RGB schéme. Takto vytvorené 3D modely sú najčastejšie podkladmi pre virtuálne prehliadky, prezentačné videá alebo podklady pre 3D tlačiarne.



Obrázok 13: Prehľadový pohľad hradu s vegetáciou a okolitým terénom – SV smerom, hore r. 2019, dole r. 2020. Zdroj: (Cesnek).

Hrad Hričov bol skenovaný v priebehu augusta 2018. Pre zložitnosť okolitého terénu bol naskenovaný celkovo z 43och stanovísk. Stanoviská boli volené pokiaľ možno s čo najväčším prekrytom medzi jednotlivými skenmi po obvode celého hradu ako aj v jeho vnútri. Celkový počet naskenovaných bodov po očistení od vegetácie a stromov bol 78 629 297 bodov. Výsledný model Hričovského hradu môžeme vidieť na obr. 11 až 14.

Záver

Autori v tomto článku prezentujú výsledky ich vedecko odborných aktivít, ktoré sú zároveň ich koníčkom. V príspevku sú uvedené výstupy 3D modelu s reálnymi textúrami Hričovského hradu z roku 2019 a jeho vylepšenia z roku 2020. Pri tvorbe modelu boli využívané prístroje SvF UNIZA získané v rámci riešenia projektu *Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej*

infraštruktúry ITMS 26220220156. Prezentovaný 3D model Hričovského hradu vytvorený Ing. Tomášom Cesnekom predstavujúce v súčasnosti na Slovensku jeden z najrealistickejších digitálnych 3D modelov vytvorených technológiou laserového skenovania.



Obrázok 14: Prehľadový pohľad hradu s vegetáciou a okolitým terénom – JZ smerom, hore r. 2019, dole r. 2020. Zdroj: (Cesnek).

V súčasnosti sú dokončované aktivity súvisiace s 3D tlačou modelu hradu a inštalácie tohto fyzického modelu v rámci stálej expozície Hričovského hradu v priestoroch múlnice v Dolnom Hričove. Autori dúfajú že svojimi vedomosťami a zručnosťami prispievajú malým čriepkom k zvyšovaniu historického povedomia obyvateľov regiónu a v konečnom dôsledku prispievajú k rozvoju turizmu v regióne Horné Považie.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „*Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry ITMS 26220220156*.“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Referencie

- Bednár, P., Staneková, Z., Šimko, P., 2019. Budatínsky hrad. 2. rozšírené vydanie, Žilina 2019, s. 279, ISBN 978-80-88877-81-7.
- Decký, M. a kol. 2020. Cementobetónové vozovky a spevnenia dopravných plôch. Vysokoškolská učebnica, 2. prepracované vydanie, Žilinská univerzita v Žiline 2020, s. 401, ISBN 978-80-554-1487-4.
- Dolný Hričov 1208-2008. Vydavateľ Obec Dolný Hričov 2008, s. 295, ISBN 978-80-969997-2-9.

Mihálik, J., Takáčová, M.: Hrad Hričov a jeho záchrana v rokoch 2010-2017, s. 45-48. In Zachráňme hrady. Záchrana historických ruín občianskymi združeniami v rokoch 2002 – 2017. Združenie Zachráňme hrady, Bratislava 2018, s.228, ISBN 978-80-972995-0-7.

Cesnek, T., Decký, M., Mihálik, J.: 3D model Hričovského hradu s reálnymi kontúrami. In Zborník príspevkov z 10. medzinárodnej konferencie Dopravná infraštruktúra v mestách. Žilinská univerzita v Žiline 2019, s. 6, ISBN 978-80-554-1594-9.

VYUŽITIE LASEROVÝCH SKENEROV V HOSPODÁRENÍ S VOZOVKOU

USE OF LASER SCANERS IN THE PAVEMENT MANAGEMENT

Martin Decký

Katedra cestného staviteľstva
Stavebná fakulta
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
martin.decky@uniza.sk

Lukáš Ďuriš

Výskumné centrum
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
lukas.duris@uniza.sk

Matúš Kováč

Katedra cestného staviteľstva
Stavebná fakulta
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
matus.kovac@uniza.sk

Abstract

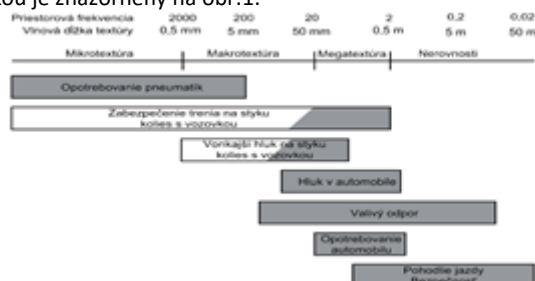
The paper presents the outputs of the staff of the Faculty of Civil Engineering and the Research Center UNIZA in the field of laser scanning of pavements for the purposes of pavement management (PM). Credibility objectification of road surface characteristics enables a more holistic, sophisticated way of decision-making within the PM, both at the network and project level. Specifically, the outputs of the SRS, Trimble CX and Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA devices are listed. There is a correlation dependence of the development of rut depth for non-rigid pavements of public transport stops found from measurements at the public transport stop Hurbanova in Žilina in the years 1994 to 2018.

Keywords

Laser scanning, pavement management, pavement morphology, cross evenness, rut depth, standard axles

1. Úvod

V článku sú prezentované výsledky dlhodobých výskumných aktivít autorov z oblasti objektívizácie morfológie povrchu vozoviek (Decký et al, 2018) s prioritnou orientáciou na rovnosť ich povrchu (Decký, Kováč, 2014) a nimi indukované mechanické kmitanie vozidiel (Decký a kol., 2019). Morfológia povrchu vozovky je okamžité usporiadanie všetkých prvkov povrchu vozovky. Ide o súhrn všetkých výškových odchýlok bodov povrchu od ideálne rovnej (projektovanej) plochy, ktoré v zvislých rezoch sledovaných rovín tvoria profily ako náhodnú kombináciu vln s rôznymi vlnovými dĺžkami a amplitúdami. Tieto odchýlky determinujú okamžité hodnoty premenných parametrov vozoviek (Kováč, 2013). Základná kategorizácia nepravidelností povrchov vozoviek na základe dĺžky a amplitúdy vlny bola navrhnutá na XVIII. cestnom svetovom kongrese v Bruseli v roku 1987 a ich vplyv na interakciu vozidla s vozovkou je znázornený na obr.1.



Obrázok 1: Rozsahy vlnových dĺžok textúry vozovky ovplyvňujúcej javy pri interakcii vozidla s vozovkou, tmavšie tieňovanie predstavuje rozsah nepriaznivého vplyvu. Zdroj: (Sandberg and Ejsmont, 2002).

AASHTO (The American Association of State Highway Transportation Officials) je neziskové združenie zastupujúce

diaľničné a dopravné oddelenia 50 štátov USA, zahŕňajúce všetky druhy

dopravy vrátane: leteckej, diaľničnej, verejnej, aktívnej (pešej a cyklistickej), železničnej a vodnej. Jeho primárnym cieľom je podpora rozvoja, prevádzky a údržby integrovaného národného dopravného systému, pričom AASHTO slúži ako:

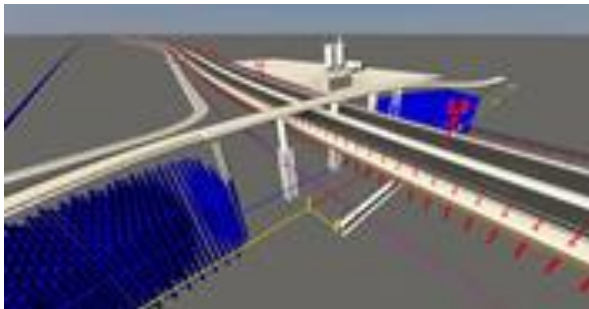
- prostredník medzi štátnymi ministerstvami dopravy a federálnou vládou,
- medzinárodný líder v oblasti technických noriem pre všetky fázy vývoja diaľničnej infraštruktúry, pre projektovanie, výstavbu diaľnic a mostov, materiály a mnoho ďalších technických oblastí.

V oblasti hospodárenia s vozovkou (*Pavement management*) za rozhodujúce výstupy združenia AASHTO možno považovať:

- *Pavement information management system (PIMS)* v *AASHTO Design Guide* z 1986, kde bol definovaný PMS, indikovala sa jeho dôležitosť a predstavila kroky potrebné na jeho prijatie a implementáciu, posledná verzia príručky je z 2012.
- *Maintenance and rehabilitation (M&R)* – údržba a rehabilitácia vozoviek by sa mala vykonávať prostredníctvom *pavement management (PM)*, čo má zabezpečiť optimálne využitie daní prostredníctvom nákladovo efektívnej stratégie navrhovania, výstavby a rehabilitácie (*cost-effective design, construction and rehabilitation strategy*) vozoviek.

Pavement management zahŕňa všetky činnosti týkajúce sa:

- plánovania,
- návrhu,
- výstavby,
- údržby a
- rehabilitácie vozoviek.

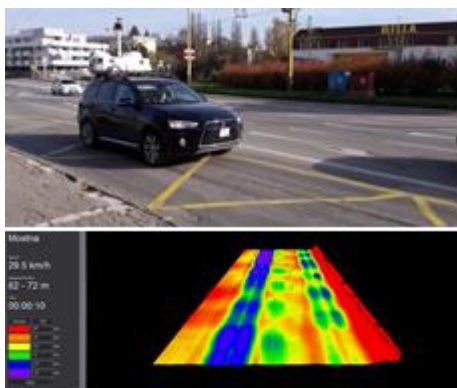


Obrázok 2: Výstup BIM Modelu D1 Budimír – Bidovce použitý pre detekciu kolízií. Zdroj: (Závodský)

PMS predstavuje súbor nástrojov (jedným z nich môže byť *BIM – Building Information Modeling*) a metód pre manažérske plánovanie výstavby a údržby cestných a letiskových vozoviek pre ich zabezpečenie v prevádzkyschopnom stave počas daného časového obdobia (Mallick and El-Korchi, 2018). PM sa často považuje za súčasť rozsiahlejšej schémy správy, ako je správa aktív (*asset management, U.S. Federal Highway Administration System*) a vyžaduje zväzovanie holistickejšieho (celostnejšieho) prístupu pri posudzovaní, analýze a implementácii. PM je implementovaný v dvoch rôznych úrovniach:

- **sieť** - na úrovni siete sa PMS využíva na výber najlepších stratégií pre návrh, výstavbu a rehabilitáciu všetkých vozoviek v rámci agentúry, aby sa dosiahol najlepší pomer nákladov a výnosov v danom období,
- **projekt** - na úrovni projektu sa PMS používa na výber najlepšieho variantu pre návrh, výstavbu alebo rehabilitáciu pre konkrétny projekt v rámci siete tak, aby výsledkom projektu bol maximálny pomer nákladov a výnosov za dané obdobie analýzy.

Informácie o doprave, existujúcich podmienkach, environmentálnych údajoch a histórii výstavby siete vozoviek poskytujú základ pre všetky následné činnosti v PM. Osobitnú pozornosť je potrebné venovať presnému, ale praktickému testovaniu existujúcich vozoviek - využívanie automatizovaného a nedeštruktívneho testovania bez narušenia plynulosti premávky (obr.3).



Obrázok 3: Znázornenie nerovností povrchu vozovky zastávky MHD Mostná v Žiline z 20.1.2018 zistené zariadením Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA pre účely projektu. Zdroj: (Ďuriš).

Tieto údaje/informácie sa môžu použiť na vývoj modelov na predikciu budúceho stavu vozoviek (pozri kap.4). S týmito informáciami sú spojené vstupné informácie o dostupných technikách M&R a ich relatívnych prínosoch a nákladoch.

Prínosy a náklady sa vyjadrujú z hľadiska predĺženia životnosti alebo zlepšenia podmienok a financií, alebo z hľadiska týchto faktorov, ako aj z dôvodu:

- spotreby paliva vozidiel,
- oneskorenia používateľa a
- opotrebenia pneumatík.

Informácie zozbierané a získané analýzami sa môžu použiť na výber najvhodnejšej činnosti v oblasti fúzií a akvizícií pre akúkoľvek špecifickú vozovku v najvhodnejšom čase, aby sa čo najlepšie využil dostupný rozpočet. Tento krok sa vykonáva v rastúcom poradí sofistikovanosti pomocou poradia, stanovovania priorít a optimalizácie. V uvedených činnostiach je dôležité poznať aktuálny stav záujmového objektu, v našom prípade vozovky, čo najpresnejšie a v tomto technológii laserového skenovania predstavujú účinný nástroj zvyšovanie sofistikovanosti rozhodovania.

2. Základné metódy laserového 3D skenovania

Hlavným prvkom laserového meracieho systému je laserový skener, detektor pracujúci na princípe laserového diaľkomeru a zasielajúci prijatú informáciu na ďalšie spracovanie. Laserové skenery sa líšia typom použitia a v súčasnej dobe rozoznávame terestrické skenery:

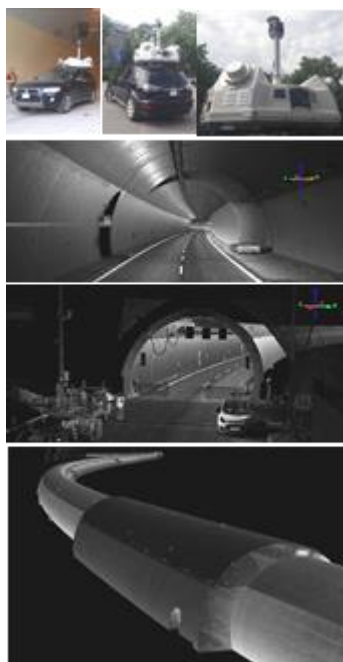
- stacionárne (obr.4)
- mobilné (obr.3 a 5).

Stacionárne skenery sú zvyčajne inštalované na stavbe (obr.4) alebo na špeciálnej podložke pre skenovanie predmetov.



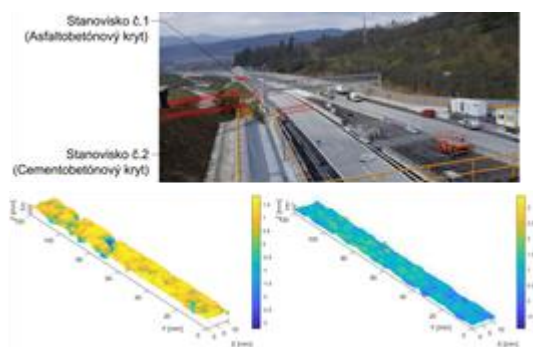
Obrázok 4: Pohľady na prístroj Trimble CX pri meraní rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova v Žiline. Zdroj: (Decký a kol., 2018).

Mobilné skenery môžu byť inštalované na vozidle lietadla, helikoptére alebo drone. V súčasnosti existuje veľa typov skenerov líšiacich sa od seba svojou rozlišovacíou schopnosťou. Na SvF sa používajú skenery od mobilného mapovania objektov (obr.5), cez objektivizáciu rovnosti vozoviek (obr.4) až po meranie mikrotextúry povrchu vozoviek (obr.6)



Obrázok 5: Pohľady na Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA a jeho výstupy z mobilného zamerania 3D modelu tunela. Zdroj: (Ďuriš).

Dnešné skenery majú zabudované citlivé zrkadlové kamery snímajúce povrch skenovaného objektu a zaisťujúce vernosť jeho textúr. Na výstupe takéhoto systému je veľmi presná priestorová kópia skenovaného objektu v zmenšenej mierke.



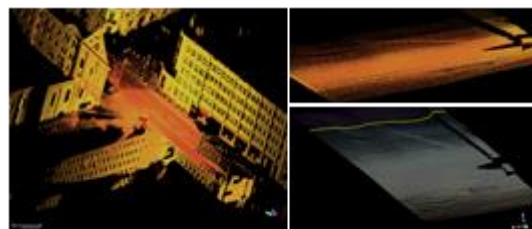
Obrázok 6: Pohľady na meracie stanoviská s asfaltovým a CB krytom predportálového úseku tunela D1 a výstupy zariadenie SRS pre hodnotenie morfológie povrchu vozoviek. Zdroj: (Brna and Cingel, 2020).

Zariadenie SRS (Static Road Scanner) katedry cestného staviteľstva SvF UNIZA je určené pre meranie morfológie povrchu vozoviek s rozlíšením až do 15 μ m (obr.6).

3. Objektivizácia nerovností vozoviek terestrickým laserovým skenerom

Súčasný systém skenerov sú schopné pomocou 3D skenera nasnímať požadovaný objekt a pomocou programu vytvorí mračno bodov zodpovedajúce skenovanému objektu. Dnešné skenery majú zabudované veľmi citlivé zrkadlové kamery snímajúce povrch skenovaného objektu a zaisťujúce vernosť jeho textúr. Pri aplikácii laserového skenovania na problematiku nerovností vozoviek sa na SvF UNIZA využíva terestrický laserový skener Trimble CX (obr.4) používajúci kombinovanú metódu merania, pulznú (time-of-flight) a fázovú (phase shift). Dosah prístroja je 1,2 až 80 m, pri 90% odrazivosti

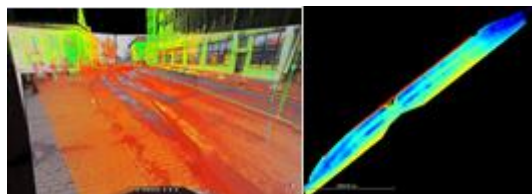
až 50 m, pri 18% odrazivosti. Rýchlosť skenovania 54 000 bodov/s. Štandardná odchýlka 1 mm na 30 m; 1.8 mm a 80 m, pre horizontálny uhol 15" a pre vertikálny uhol 25". Presnosť modelovanej plochy ± 3 mm, veľkosť stopy lúča lasera 8 mm na 25 m; 13 mm na 50 m, min. uhlový krok 0.002°. Prvé meranie rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD prístrojom Trimble CX bolo v r.2013 uskutočnené a vyhodnotené v programe Trimble Realworks 6.0, ktorého výstupy môžu byť importované do programu AutoCAD vo formáte *.dwg resp. *.ptc



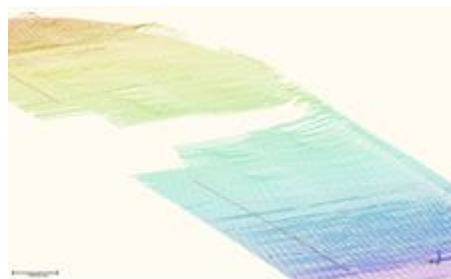
Obrázok 7: Pohľad na hrubé mračno bodov (MB) so zachytením zástavby (vľavo), MB spracované pre účely vyhodnotenia priečnych profilov, MBs vygenerovanými priečnymi profilmi vozovky. Zdroj: (Mužík).

Druhé meranie rovnosti povrchu predmetnej vozovky bolo realizované 22.10.2015 z 2 meracích stanovísk (MS) za plnej dopravnej premávky bez priameho kontaktu s povrchom vozovky (doba potrebná na vykonanie podrobného skenu z 1 stanoviska bola 3 min). Na mape (obr.8, vpravo), predstavujúcej základ pre podrobnejšiu kvantifikáciu nerovností povrchu vozovky, sú viditeľné deformácie povrchu v podobe vyjazdených koľají.

Vygenerované profily zobrazujú tvar povrchu vozovky vo forme rezov umožnili vyhodnotenie celkového stavu rovnosti vozovky spolu s určením hraničných hodnôt deformácií.



Obrázok 8: Perspektívny pohľad na MS2 spolu s podkladovými snímkami a Mapa povrchu získaná z mračna bodov. Zdroj: (Mužík).



Obrázok 9: Vygenerované profily a viditeľné nerovnosti na povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova v Žiline 22. 10. 2015. Zdroj: (Mužík).

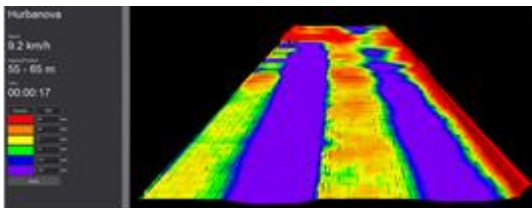
Z takto získaných profilov bolo možné porovnanie s tradičnými metódami merania nerovností. Pre účely komparácie s normovým postupom merania nerovností vozoviek 3 m latou bola zistená max. hodnota hĺbky pravej koľaje $R_{maxTrimble} = 76$

mm, čo predstavuje pomerne presnú zhodu s údajom získaným latou z 30.5.2015 $R_{max,latam} = 73$ mm. Tretie meranie sa vykonalo mobilným 3D skenerom Optech Lynx SG 1 vo vlastníctve Výskumného centra UNIZA (obr.10).



Obrázok 10: Pohľad na zariadenie Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA, MHD Mostná v Žiline z 20.1.2018 zistené (Ďuriš)

Prístroj využíva 2 LIDAR snímače, každý s výkonom 600kHz a rozsahom 360°. LIDAR (Light Detection And Ranging) je skratka na označenie optickej technológie diaľkového prieskumu Zeme využívajúceho pulzné radarové lúče na meranie vzdialenosti medzi objektom a LIDARom umiestneným na palube lietadla. Dosah prístroja je až 250 m, pri 10% odrazivosti. Rýchlosť skenovania je možné nastavovať až do 1,2 milióna bodov za sekundu. Rýchlosť vozidla počas merania môže byť do 100 km/hod. Presnosť modelovanej plochy ± 5 mm, georeferencovaná polohová presnosť ± 5 cm je závislá od kvality príjmu GPS signálu. Zariadenie je vybavené 360° panoramatickou 5MPx kamerou (obr.5 a 10) a meranie rovnosti povrchu zastávky MHD Hurbanova bolo uskutočnené v roku 2018 (obr.11).



Obrázok 11: Vyhodnotenia rovnosti povrchu 10m úseku vozovky zastávky MHD Hurbanova z 20. 1.2018, žltá – zrovnávací rovina 0mm, zelená - 5mm, modrá -15mm, fialová nad - 25 mm. Zdroj:(Ďuriš).

Obr. 11 bol vyhodnotený v programe Optech LMS 6.1. Výstupy programu môžu byť importované do programov podporujúcich Point cloud vo formáte *.las napr. Microstation, a.i.

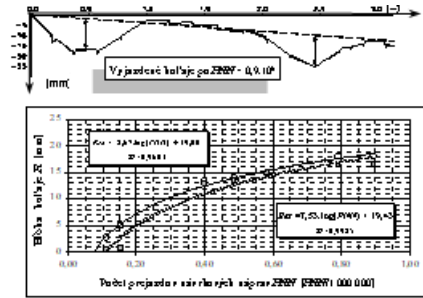
4. Záver

V príspevku sú uvedené príklady výstupov pracovníkov Stavebnej fakulty a Výskumného centra UNIZA z oblasti laserového skenovania povrchu vozoviek umožňujúce holistickejší, sofistikovanejší spôsob rozhodovania v rámci PM a to na úrovni siete ako aj projektu. Konkrétne sú uvedené výstupy laserových skenovacích zariadení SRS, Trimble CX a Lynx SG1 Mobile Mapper UNIZA, ktorých hlavnou výhodou je ich bezkontaktný spôsob získavania relevantných údajov o priečnej rovnosti povrchu vozoviek. Hlavná pozornosť je venovaná meraniu priečnej rovnosti povrchu vozovky zastávky MHD Hurbanova, na ktorej boli uskutočňované merania tohto parametra (obr.7 až 12) v rokoch 1994 až 2018. Autormi bola objektivizovaná kredibilitná korelačná závislosť vývoja priečnej nerovnosti netuhých vozoviek zastávok MHD od počtu prejazdov návrhových náprav (PNN).



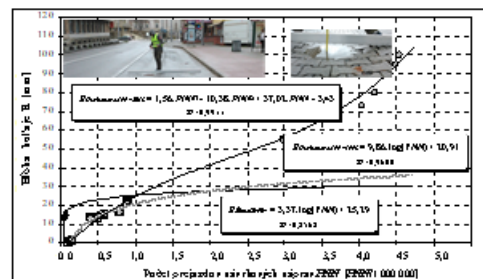
Obrázok 12: Pohľady na merania hĺbky koľají normovou latou po 160 000 PNN 27.8.1994, v roku 2012 po NN=3,4.10⁶, v r. 2015 po PNN=4.10⁶ a 2017 po PNN=4,5.10⁶. Zdroj: (Decký).

Na obr.13 je uvedená korelačná závislosť hĺbky ľavej (R_{LK}) a pravej koľaje (R_{PK}) od počtu PNN vyhodnotená pre celkový počet PNN v úrovni 0,9 milióna a na obr.14 pre PNN=4,6. 10⁶.



Obrázok 13: Príklad meraní hĺbky koľají profilografom z roku 1997 a korelačná závislosť od PNN=0,9 milióna. Zdroj:(Decký).

Na základe prezentovaných skutočností odporúčame v PM pre účely predikcie vývoja hĺbky koľají na zastávkach MHD a úsekoch ciest, kde vozidlá intenzívne akcelerujú a decelerujú, používať korelačnú závislosť vývoja hĺbky koľaje R [mm] od počtu prejazdov 100 kN návrhových náprav podľa rovnice 1.



Obrázok 14: Korelačné závislosti vývoja hĺbky koľají od PNN vyhodnotených pre PNN = 0,1x10⁶; 0,9x10⁶ a 4,5x10⁶. Zdroj: (Decký).

$$R_{MHD} = 1,56 \times PNN^3 - 10,38 \times PNN^2 + 37,02 \times PNN - 3,43 \quad (1)$$

Korelačná rovnica 1 bola získaná z meraní hĺbky koľají R normovými postupmi latou (obr.12) a laserovým skenerom Trimble CX uskutočnených od roku 1994 do 2018.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu: „Brokerské centrum leteckej dopravy pre transfer technológií a znalostí do dopravy a dopravnej infraštruktúry ITMS 26220220156.“



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku/ Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ

Referencie

- Brna, M. and Cingel, M., 2020. Comparison of pavement surface roughness characteristics of different wearing courses evaluated using 3D scanning and pendulum. MATEC Web of Conferences, 313, p.00013.
- Decký, M. a kol., 2019. Objektívizácia mechanického kmitania indukovaného cestnou dopravou. Vedecká monografia, 1. vyd., Žilinská univerzita v Žiline, s. 279.
- Decký, M., Kováč, M. 2014. Pozdĺžna rovnosť vozoviek pozemných komunikácií. Vedecká monografia, 1. vyd., Žilinská univerzita v Žiline, s. 222.
- Decký, M., Kováč, M., Mužík, J., Mičechová, L. and Ďuriš, L., 2018. Objectification of Public Bus Stop's Pavement Surface Morphology. Civil and Environmental Engineering, 14(1), pp.44-53. DOI: 10.2478/cee-2018-0006.
- Kováč, M.: Morfológia povrchu vozovky z hľadiska jej prevádzkovej spôsobilosti. Habilitačná práca, UNIZA 2013, s.121.
- Mallick, R., B., El-Korchi, T., 2018. Pavement engineering, n.d..
- Sandberg, U., Ejsmont, J. A., 2002. Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, SE-59040 Kisa, Sweden: s.n., 2002.

PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA REGIONÁLNEHO LETECKÉHO DOPRAVCU- MESA AIRLINES

CASE STUDY OF REGIONAL AIR CARRIER -MESA AIRLINES

Anna Tomová jr.

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

Alena Novák Sedláčková

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
sedlackova2@fpedas.uniza.sk

Abstract

Regional air carriers are a specific segment of commercial civil aviation. They mainly operated on shorter distance markets and markets with lower demand. They are characterized by different models of cooperation with traditional airlines and are characterized by a unique fleet with smaller capacity aircraft. This paper will be focused on the profile of the regional air carrier from the USA- Mesa Airlines, in terms of selected attributes of the business model, operational and economic development in relation to the reverse load factor as well on current US federal governments state aid to US air carriers during the coronary crisis in 2020

Keywords

regional air carrier, break-even load factor, state aid, COVID-19, operating profit.

1. Úvod

Postavenie regionálnych leteckých dopravcov na trhu komerčného civilného letectva je špecifické. Pre týchto dopravcov sú charakteristické rozličné modely spolupráce s tradičnými leteckými dopravcami a vyznačujú sa jedinečnou flotilou, v ktorej sa nachádzajú zväčša rôzne typy lietadiel prevažne však využívajú lietadlá s menšou kapacitou. Zameriavajú sa hlavne na vykonávanie letov na kratšie vzdialenosti a trhy s menším dopytom. Tento článok sa venuje charakteristike a profilu regionálneho leteckého dopravcu z USA Mesa Airlines, a to z hľadiska vybraných atribútov biznis modelu, prevádzkovo-ekonomického vývoja vo väzbe na zvrátový súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity ako aj na súčasnú situáciu na trhu leteckej dopravy počas „korona krízy“, kedy americká federálna vláda poskytuje štátnu pomoc leteckým dopravcom USA. Tento článok je zároveň súčasťou prác výskumu vykonávaného v rámci grantového projektu VEGA- Modely podnikania regionálnych letísk v kontexte dopravnej politiky štátu a Európskej únie a nadväzuje na doteraz uskutočnený výskum regionálnych leteckých dopravcov v rámci tohto projektu, napríklad Tomová a Materna (2018), Novák Sedláčková a Tomová Jr. (2018).

2. Charakteristika spoločnosti Mesa Airlines

V roku 1982 bola založená spoločnosť „Mesa Air Shuttle“ ako rodinný podnik, ktorého zakladateľmi bol manželský pár. Flotilu tvorilo jedno päťmiestne lietadlo Piper Saratoga, ktoré bolo používané na pravidelnú leteckú dopravu medzi Farningtonom a Albuquerque v štáte Nové Mexiko. V období rokov 1983 a 1992 sa flotila rozširovala, dopravca získal aj licenciu na prevádzkovanie tzv. „Essential Air Service“, čo je obdoba európskej schémy „Public Service Operation“. V roku

1987 začali byť akcie spoločnosti obchodovateľné na burze. V roku 1989 bola uzatvorená code-share dohoda so spoločnosťou Midwest Express. Akvizíciou so spoločnosťou Aspen Airways došlo k získaniu code-share dohody s United Express. V roku 1992 Mesa vstúpila do dlhodobého partnerstva s American West Airlines, čo po následnej konsolidácii v odvetví viedlo k partnerstvu so spoločnosťou American Airlines. Akvizície, horizontálne partnerstvá a zakladanie dcérskych spoločností, prípadne joint ventures bolo súčasťou rozvojovej stratégie Mesa Airlines v prvých desaťročiach jej existencie. V súčasnosti je stratégia rozvoja založená na code-share partnerstve s American Airlines a United Airlines. Vlastníkom Mesa Airlines je holding Mesa Air Group (Mesa-air, 2020).

Tabuľka 1: Významné míľniky v histórii Mesa Airlines/Mesa Air Group. Zdroj: (Mesa-air, 2020).

Rok	Popis
1990	akvizícia Aspen Airways
1991	akvizícia Air Midwest akvizícia West Air Commuter Airlines
1992	Partnerstvo s American West Airlines Air Transport World's Regional Airline of Year
1994	akvizícia Crown Airways
1998	zmena sídla z Farningtonu do Phoenixu
1999	akvizícia CCAir
2001	dohoda s Frontier o prevádzkovaní letov z Denveru pod značkou Frontier Jet Express
2003	založenie Freedom Airlines, code-share s Delta ako „Delta Connection Carrier“
2005	založenie go!Airlines Air Transport World's Regional Airline of Year
2007	založenie joint venture - Kungpeng Airlines spoločne s Shenzhen Airlines založenie go!Express – code-share s Mokulele Airlines
2008	predaj Kungpeng Airlines
2010	predaj vlastníctva Spirit Airlines

V uplynulých pätnástich rokoch Mesa Airlines patrila k najvýznamnejším regionálnym leteckým dopravcom v USA. V grafe 1 je zobrazený vývoj počtu cestujúcich prepravených Mesa Airlines v rokoch 2004 až 2019. Najvyšší počet prepravených cestujúcich v uvádzanom období dosiahla spoločnosť v roku 2018, kedy prepravila viac ako 14 miliónov cestujúcich. V tomto roku dosiahla aj najvyšší počet prepravených medzinárodných cestujúcich – takmer 1,5 milióna. Väčšinová časť prevádzky vyplýva z horizontálnej spolupráce s American Airlines a United Airlines.



Obrázok 1: Vývoj počtu cestujúcich prepravených Mesa Airlines v rokoch 2004 až 2019. Zdroj: Autori.

Ako regionálny letecký dopravca sa Mesa Airlines prioritne orientuje na prepravu domácich cestujúcich a základom jej biznis modelu je intenzívna horizontálna spolupráca s dvoma veľkými leteckými dopravcami American Airlines (pod značkou America Eagle) a United Airlines (pod značkou United Express). Lety Mesa Airlines podliehajú príslušným vernostným programom spolupracujúceho veľkého dopravcu. Produktová politika Mesa Airlines je naviazaná na produktovú politiku spolupracujúceho veľkého dopravcu. Napríklad v rámci spolupráce s United ponúka spoločnosť dve cestovné triedy na oboch typoch používaných lietadiel. Na letoch lietadlom Embraer je možné si rezervovať letenku v troch rezervačných triedach – First Class, Premium Class a Coach Seats; na letoch lietadlom Bombardier CRJ 700 sú ponúkané dve cestovné a rezervačné triedy. Sídlo spoločnosti Mesa Airlines je od roku 1998 Phoenix. Flotila spoločnosti začiatkom roku 2020 predstavuje 145 lietadiel. Flotila Mesa Airlines je rôznorodá s HHI (podľa typov lietadiel) rovným 0,379. HHI flotily podľa výrobcu lietadiel je vyšší, dosahuje hodnotu 0,51 a poukazuje na vyššiu mieru jednotnosti flotily z tohto hľadiska. Vo flotile sa nachádzajú lietadlá typické pre regionálnych leteckých dopravcov tak, ako je uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2: Flotila Mesa Airlines. Zdroj: (Mesa-air, 2020).

Typ lietadla	Počet	Poznámka
Bombardier CRJ700	20	Prevádzkované pre UA.
Embraer E175	60	Prevádzkované pre UA.
Bombardier CRJ 900	64	Prevádzkované pre AA.
Bombardier CRJ 200	1	Prevádzkované pre AA.

Mesa Airlines pred koronakrízou prevádzkovala denne niekoľko sto letov, ako báz American Airlines/ American Eagle využívala letiská Phenix, Dallas-Ft.Worth, Luisville; United

Airlines/United Express báz Washington Dulles a Houstone, a aj vlastné báz Tuscon, El Paso a Houston Hobby.

3. Analýza rovnovážneho súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity

Pre prežitie leteckého dopravcu na trhu je kritický vývoj tzv. rovnovážneho súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity v porovnaní s vývojom súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity (Tomová et al., 2017).

Tabuľka3: Súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity a rovnovážny súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity Mesa Airlines 2004 – 2019. Zdroj: (bts.gov, 2020 a Autori).

Rok	Prevádzkové výnosy na výnosovú osobomíľu v USD	Prevádzkové náklady na ponúkanú osobomíľu	Dosiahnutý súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity v %	Dosiahnutý rovnovážny súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity v %
2004	0,165	0,108	71,98	65,45
2005	0,177	0,108	69,48	61,02
2006	0,188	0,137	76,81	72,87
2007	0,181	0,144	77,51	79,60
2008	0,204	0,158	76,57	77,45
2009	0,173	0,130	76,75	75,14
2010	0,180	0,134	79,05	74,44
2011	0,185	0,146	80,45	78,92
2012	0,152	0,120	83,31	78,95
2013	0,107	0,080	82,70	74,77
2014	0,100	0,071	82,48	71,00
2015	0,083	0,058	82,06	69,88
2016	0,082	0,058	81,73	70,73
2017	0,086	0,059	80,69	68,60
2018	0,084	0,059	81,47	70,24
2019	0,099	0,067	81,30	67,68

Z údajov v tabuľke 3 je vidieť, že prevádzkové výnosy na jednu výnosovú osobomíľu sa v priebehu 15 rokov znižovali. Podobný vývoj sa dá pozorovať aj vo vývoji jednotkových prevádzkových nákladov prepočítaných na ponúkanú osobomíľu. To bez ohľadu na možné vplyvy exogénnych faktorov, ako je cena leteckého paliva, poukazuje na rastúcu konkurenciu leteckých dopravcov v USA v oblasti jednotkových nákladov s následným dopadom na cenu (resp. jednotkový výnos). Pri porovnaní dosiahnutého súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity a dosiahnutého rovnovážneho súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity Mesa Airlines len v roku 2008 zaznamenala vyšší rovnovážny súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity ako dosiahnutý súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity. Súčiniteľ využitia sedadlovej kapacity z dlhodobého hľadiska zaznamenal trend kontinuálneho nárastu a od roku 2011 boli hodnoty súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity väčšie ako 80 %, čo môže súvisieť so silnou horizontálnou spolupracou. Z uvedených hodnôt v tabuľke 3 je možné odvodiť záver o dobrej

ekonomickej kondícii Mesa Airlines v okruhu prevádzkových činností.

4. Vplyv „korona krízy“ na Mesa Airlines

Koronakríza na začiatku roku 2020 ovplyvnila leteckých dopravcov po celom svete a úplne ochromila trh leteckej dopravy. Výnimkou nie je ani USA, kedy môžeme konštatovať, že letecká doprava v USA je veľmi zasiahnutá súčasným vzniknutým stavom. Podobne ako v iných krajinách aj v USA preto vznikli schémy štátnej podpory pre leteckých dopravcov. Legislatívne ich upravuje tzv. „CARES Act“. V tabuľke 4 sú uvedené príklady podpory veľkých dopravcov USA z prostriedkov federálneho ministerstva financií „US Treasury“, ktoré boli dohodnuté na základe „CARES Act“. Celková výška podpory bola stanovená tak, aby pokrývala cca 76 % nákladov na mzdy, platy a benefity zamestnancom (zamestnanci na plný a čiastočný úväzok, prechodní zamestnanci a agentúrni zamestnanci). Východisková hodnota pre výšku pomoci vychádzala z príslušných údajov dosiahnutých v druhom a treťom kvartáli v roku 2019. 70 % pomoci je grant, 30 % pôžička.

Tabuľka 4: Štátna pomoc veľkým leteckým dopravcom v USA vyvolaná koronakrízou. Zdroj: (Passenger Airlines and US Treasury Department Reach Agreement on CARES Act Payroll Support Program, 2020).

Dopravca	Celková čiastka podpory v mil. USD	Grant (z celkovej čiastky)	Pôžička (z celkovej čiastky)	Ostatné podmienky dohody
American Airlines spoločne s PSA, Envoy Air, Piedmont	5 800	4 100	1 700	Právo nákupu 13,7 milióna akcií materskej spoločnosti AA Group za cenu 12,51 USD za akciu.
Alaska Airlines	992	725	267	Právo nákupu 847 000 akcií bez hlasovacieho práva za 31,61 USD za akciu.
JetBlue Airways	935,8	685,1	250,7	Právo nákupu 2,6 milióna akcií za 9,5 USD.
SouthWest	3 200	2 300	1 500	Právo nákupu 2,6 milióna akcií za cenu 36,47 za akciu.
United Airlines	5 000	3 500	1 500	Právo nákupu 4,6 milióna akcií materskej spoločnosti UA Holding za 31,5 USD za akciu.
Delta Airlines	5 400	3 800	1 600	Právo nákupu 1 % spoločnosti za cenu 24,39 USD za akciu.

Mesa Airways Group dostane na základe federálneho zákona CARES Act čiastku 93 miliónov USD, ktorá je určená na podporu miezd, platov a zamestnaneckých benefitov. Pretože je čiastka menšia ako 100 miliónov USD, „US Treasury“ nebude

požadovať, aby s federálnou vládou vstúpili do dohody o pôžičke, resp. vlastníctve, ako tomu je v prípade veľkých leteckých dopravcov. Miernejšie podmienky pre štátnu pomoc pre regionálnych dopravcov žiadala asociácia regionálnych aerolínií v USA „Regional Airline Association“. Mesa zároveň musí dodržať aj ďalšie podmienky podpory. Nesmie požadovať od zamestnancov neplatené voľno a nesmie znížiť výplatu miezd a benefitov do 30.9.2020. Tiež musí spoločnosť obmedziť platy a odmeny vedúcich pracovníkov do roku 2022 a do septembra 2026 zastaviť výplatu dividend a spätnú kúpu akcií (Mesa accepts \$93 million in payroll grants, 2020).

Uvedenú štátnu pomoc federálnej vlády leteckým dopravcom v USA môžeme hodnotiť ako pomerne rýchlu, diferencovanú podľa veľkosti dopravcu s trhovými prvkami (kombinácia grantu a pôžičky za stanovených úrokových podmienok). Štátna pomoc vznikla na základe dohody štátu a dopravcov. Štátna pomoc je podmienená, to znamená, že dopravca musí dodržať viaceré pravidlá pomoci, ktoré zabezpečujú dodržanie účelu pomoci a limitujú prípadné iné použitie pomoci. V prípade veľkých dopravcov odvíjajú sa od výšky poskytnutej pomoci získala federálna vláda „oproti pomoci“ aj právo nákupu časti akcií dopravcov za dohodnutú sumu. Oceniť je možné tiež stanovenie časového harmonogramu podmienok, ktoré musí dopravca dodržať aj v období prvých rokov po predpokladanom odznievaní krízy.

5. Záver

Táto analýza ukázala Mesa Airlines ako typického regionálneho dopravcu, ktorého biznis model regionálneho dopravcu nie je spochybniteľný v žiadnom atribúte. Analýza tiež poukázala na to, že aj letecký dopravca s dobrou ekonomickou kondíciou v prevádzkovej oblasti hospodárenia (čo dokázal vývoj súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity a rovnovážneho súčiniteľa využitia sedadlovej kapacity), nie je odolný voči dopytovému a ponukovému šoku vyvolaného súčasťou koronakrízou. Taktiež sme dospeli k názoru, že aj tzv. „štandardné trhové ekonomiky“ v čase veľkých kríz musia pristupovať k vytvoreniu schém štátnej pomoci leteckým dopravcom, pretože letecká doprava je senzitivná a cyklické ekonomické odvetvie. Štátnu pomoc leteckým dopravcom v USA hodnotíme pozitívne, pretože ide o rýchlu pomoc dosiahnutú na základe dohody, pomoc diferencovanú podľa veľkosti dopravcov a podmienenú splnením účelu, kedy je to však hlavne pomoc s prítomnosťou trhových prvkov.

Pod'akovanie

Tento článok je jedným z výstupov projektu **VEGA 1/0624/18** „Modely podnikania regionálnych letísk v kontexte dopravnej politiky štátu a Európskej únie“.

Referencie

Mesa accepts \$93 million in payroll grants, 2020. Dostupné na internete: <https://www.flightglobal.com/airlines/mesa-accepts-93-million-in-payroll>

Mesa-air, 2020a. Dostupné na internete: <http://www.mesa-air.com/content.aspx?pageID=16425>

Mesa-air, 2020b. Dostupné na internete: <http://www.mesa-air.com/content.aspx?pageID=16464>

Novák Sedláčková, A., Tomová Jr., A. 2018. Regional carriers in the United Kingdom: Market entries, market exits, fleets and airports. In: New Trends in Civil Aviation 2018. ISBN 978-0-8153-7602-6. s. 305-311

Passenger Airlines and US Treasury Department Reach Agreement on CARES Act Payroll Support Program (2020) In: The National Law Review. Dostupné na internete:<https://www.natlawreview.com/article/passenger-airlines-and-us-treasury-department-reach-agreement-cares-act-payroll>

Tomová, A. et al. 2017. Ekonomika leteckých spoločností: pravidelná osobná doprava. Žilina. Žilinská univerzita v Žiline EDIS-vydavateľské centrum ŽU. ISBN 978-80-554-1359-4

Tomová, A., Materna, M. 2018. Miscellaneous „modi vivendi“ of regional and network airlines: The tracks for future research. In: INAIR 2018: Aviation on the Growth Path. Transportation Research Procedia, Vol. 35. ISSN 2352-1465. s. 305-314

www.bts.gov

KORELÁCIA MEDZI LETECKOU DOPRAVOU A EKONOMICKÝM RASTOM V ČÍNE

CORRELATION BETWEEN AIR TRANSPORT AND ECONOMIC GROWTH IN CHINA

Stanislav Szabo jr.

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
stanislav.szabo.2@tuke.sk

Iveta Vajdová

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
iveta.vajdova@tuke.sk

Edina Jenčová

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
edina.jencova@tuke.sk

Sebastian Makó

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
sebastian.mako@tuke.sk

Martin Čičo

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
martin.cico@studenttuke.sk

Agnes Horvat

Katedra manažmentu leteckej prevádzky
Letecká fakulta, Technická univerzita v
Košiciach
Rampová 7
041 21 Košice
agnes.horvat@tuke.sk

Abstract

The Asia region is one of the most promising regions in the field of air transport. The sharp increase in the number of passengers carried in recent years indicates a further expansion of the area. Papers deals with the current state of air transport in China and is then focused on the evaluation of a selected factor of the macroenvironment for the development of air transport in the region. Based on the current global situation with a COVID-19 pandemic, paper also marginally its impact on the country's economy and the development of air transport. The thesis of linking the growth of the country's gross domestic product and the traveling public is proved by calculating the correlation between GDP and the number of transported passengers. Based on the results, it is possible to see a strong correlation between the monitored indicators, which results in a strong relationship between the development of the economy in the country and air transport.

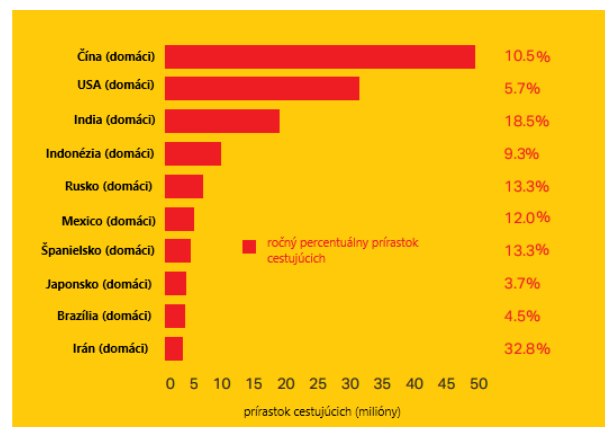
Key words

China, air transport, time series analysis, correlation

1. Úvod

V roku 2018 zamestnali čínske letecké spoločnosti, prevádzkovatelia letísk, výrobcovia lietadiel, poskytovatelia letových navigačných služieb a podniky na letiskách ako reštaurácie a maloobchod spolu približne 1,3 milióna ľudí, čo predstavuje pomerne výraznú časť angažovanosti spoločnosti v oblasti leteckej dopravy. V roku 2018 zaznamenal čínsky trh s osobnou leteckou dopravou najväčší rast v počte cestujúcich, čo v porovnaní s rokom 2017 predstavuje nárast až o 14%. Čína s veľkým náskokom prebehla aj tak veľké trhy, akými sú USA a najnovšie aj India (Williams, 2018).

V roku 2018 čínsky trh aj naďalej vykazoval najväčší prírastok cestujúcich (Williams, 2018). Na obrázku 1 môžeme vidieť dominanciu čínskeho trhu z pohľadu ročného percentuálneho prírastku cestujúcich.



Obrázok 1: Top 10 leteckých trhov za rok 2018. Zdroj: (Williams, 2018).

Podľa IATA vytvoril letecký sektor v súčasnosti aj ďalších skoro 2,3 milióna pridružených, s letectvom prepojených pracovných pozícií, ktoré vznikli len vďaka nákupu tovarov a služieb priamo od lokálnych čínskych výrobcov. Tieto a aj iné dodávateľské firmy svojim pôsobením generujú kapitál, ktorý je čiastočne použitý aj na platy zamestnancov, čo v ekonomike vytvára efekt snehovej gule. Predpokladá sa, že tieto peniaze

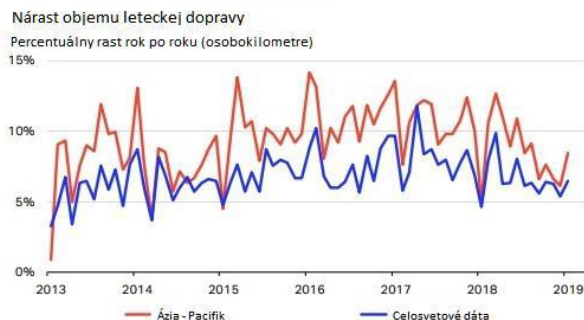
nadobudnuté zamestnancami z rôznych odvetví, či už priamo alebo nepriamo napojených na fungovanie leteckého priemyslu skončia z istej časti opäť v leteckom sektore, pretože pozdviženie strednej vrstvy stimuluje chuť po cestovaní a lietaní. Nemalý vplyv na ekonomiku má aj fakt, že práve nárastom leteckých spojení vzniká ďalší fenomén – turizmus. Odhaduje sa, že len zahraniční turisti prichádzajúci letecky do Číny, míňajúc svoje peniaze v miestnom hospodárstve, vytvorili v roku 2018 ďalších 1,2 milióna pracovných miest (Williams, 2018).

Celkovo sa odhaduje, že samotný rozvoj leteckého priemyslu priniesol Číne rast vo výške 73 miliárd dolárov v roku 2018. Len samotný turizmus obohatil krajinu o 15 miliárd dolárov v ten istý rok. Zo štatistik IATA teda môžeme konštatovať, že letecký priemysel a turizmus s ním spojený tvorí 0,8% HDP celej krajiny, čo je pri tak veľkej ekonomike akou je Čína naozaj nezanedbateľné číslo [3].

Schopnosť odvetvia leteckej dopravy spojiť Čínu s novými a rýchlo rastúcimi mestami môže prispieť k hospodárskemu rastu celej krajiny. Už v dnešnej dobe existuje 223 priamych liniek medzi 10 najrýchlejšie rastúcimi krajinami sveta, čo značí priamu koreláciu s rastom leteckej dopravy medzi týmito mestami. Je teda jasne viditeľné, že letecký priemysel dokáže byť adekvátnym hnacím motorom lokálnych ekonomík, ak sa toto odvetvie dobre podchyť a rozvíja, čoho je Čína jasný príklad [3].

2. Zhodnotenie vybraných ukazovateľov leteckej dopravy v Číne

Na demonštráciu istého trendu vývoja prepravených cestujúcich vzhľadom na využité osobokilometre (RPKs – Revenue Passenger Kilometres) použijeme následný graf (Davis, 2019).



Obrázok 2: Porovnanie nárastu objemu prepravených cestujúcich v oblasti Ázie so zvyškom sveta v rozmedzí rokov 2013 až 2019. Zdroj: (Davis, 2019).

Na základe Obr. 2 môžeme konštatovať, že najväčší nárast výnosov za využité osobokilometre (RPKs) bol zaznamenaný v roku 2016. Nasledujúce roky prišiel menší útlm a hodnoty začali klesať. S jemnými fluktuáciami sa počíta podobne ako aj pri iných odvetviach. Podstatné je ale to, že ani raz sa hodnoty výrazne neprepadli a existuje predpoklad na pozitívny vývin. Krivka pre rok 2019 vyzerá optimisticky. Detailnejší prehľad o využitej sedačkovej kapacite (PLF), obsadenosti kapacity lietadla z pohľadu nákladu (FLF), ponúkaných osobokilometroch (ASK) a ponúkaných tonokilometroch (AFTK) nám poskytne nasledujúca tabuľka (Davis, 2019), (Smith, 2019).

Tabuľka 1: Porovnanie vybraných ukazovateľov výkonnosti leteckých dopravcov v rámci Ázie a zvyšku sveta.

Percentuálna zmena (+/-)	2018	Apr-19	Máj-19	Jún-19	
ASK, PLF,FLF,AFTK					
Cestujúci					
Ázia	ASK	8,5	3,7	3,9	4,0
	PLF	81,5	81,7	80,2	82,1
Svet	ASK	6,5	3,3	2,7	3,3
	PLF	81,9	83,0	81,6	84,4
Náklad					
Ázia	AFTK	4,0	-1,3	0,0	1,8
	FLF	55,8	50,9	52,4	52,2
Svet	AFTK	4,9	1,7	1,4	2,6
	FLF	49,3	46,3	46,8	45,4

ASK = ponúkané osobokilometre , PLF = využitie sedačkovej kapacity , FLF= obsadenosť kapacity lietadla z pohľadu nákladu, AFTK= ponúkané tonokilometre

O prudkom náraste leteckej dopravy v Číne svedčí aj momentálna situácia na medzinárodnom letisku v Pekingu. To v roku 2018 narazilo na svoje limity, keď jeho terminálom prešlo v ten istý rok 100 miliónov cestujúcich (Ceriny, 2020).

Práve preto sa už v roku 2014 zahájila výstavba nového letiska. Výstavba momentálne najväčšieho letiska na svete bola dokončená koncom roka 2019. Terminál sa rozprestiera na rozlohe 700 000 metrov štvorcových, čo je ekvivalent veľkosti 98 futbalových štadiónov. Letisko ďalej disponuje 4 vzletovými a pristávacími dráhami, ktoré by mali mať kapacitu vybaviť až 300 vzletov a pristátí za hodinu. Celá stavba vyšla čínsku vládu na 11 miliárd dolárov (Ceriny, 2020).

3. Vplyv vybraného faktora makroprostredia na vývoj leteckej dopravy v čínskom regióne

Čínska ekonomika si za posledných 50 rokov prešla naozaj pozoruhodným prerodom. Začiatky boli pre krajinu ťažké, pretože až do roku 1949 bola Čína agrárnou a chudobnou krajinou. Priemysel tvoril iba malú časť hrubého domáceho produktu, a to si uvedomovali aj politické špičky. Chudoba totiž tvorí základ pre nespokojnosť obyvateľstva s politickými elitami. Keďže bola Čína významný spojenc Sovietského zväzu, tak sa to prejavilo aj na prvých snahách masovo industrializovať celú krajinu. Boli to práve Rusi, ktorí svojou podporou čínskemu režimu spolu rozbehli prvú päťročnicu v 50. rokoch minulého storočia. Tá sa pre miestny priemysel stala veľmi úspešnou, a tak onedlho nasledoval ďalší 5 ročný plán, ktorý mal industrializáciu posunúť ešte o úroveň vyššie (Hirst, 2015).

Masová industrializácia priniesla veľké množstvo pracovných miest, čo bolo pre krajinu prospešné, keďže Čína patrí medzi najľudnatejšie krajiny sveta. Plánovaná ekonomika, rovnako ako v sovietskom Rusku, nefungovala najlepšie a prinášala so sebou veľké množstvo problémov. Krajina začala aj napriek

počiatočnému úspechu stagnovať, a tak bolo treba urobiť rúzne rozhodnutie (Hirst, 2015).

To prišlo na 11. plenárnom zasadnutí ústredného výboru komunistickej strany v roku 1978, kde padlo rozhodnutie pomaly uvoľňovať pravidlá spojené s predajom poľnohospodárskych produktov na trhoch. Za krátky čas sa tak vytvorili prvé súkromné trhy so zeleninou a potravinami, ktoré podliehali zdaneniu, a boli do veľkej miery sledované štátom. Tento krok sa osvedčil a mal úspech, a tak čínska vláda pristúpila na otvorenie svojej ekonomiky aj zahraničným spoločnostiam s cieľom získať potrebný kapitál na investície a rozvoj celej krajiny. Čína sa stala pre zahraničné firmy atraktívna hlavne pre svoj potenciál, ktorý vyplýval z veľkého množstva lacnej pracovnej sily. Nasledovala obrovská migrácia populácie z vidieka do veľkých miest, kde boli všetky nové továrne sústredené. Prejavilo sa to hlavne na raste HDP krajiny, ktoré medzi rokmi 1978 až 2012 vzrástlo v priemere o 9,4 % každoročne (Hirst, 2015).

V posledných rokoch ale HDP krajiny rastie pomalšie, než sa očakávalo. Súvisí to s faktom, že Čína narazila na limit svojho súčasného výrobného a exportného modelu. Bude preto musieť svoju ekonomiku znova zreformovať, aby sa mohla ďalej rozvíjať, hlavne v oblasti vyspelých technológií. Prvé kroky je už možné vidieť dnes. Na trh sa dostalo obrovské množstvo elektroniky pod hlavičkou čínskych firiem. Ale aj napriek tomu, je krajina ešte stále ekonomicky závislá na exporte a výrobe súčiastok a polotovarov pre svetový priemysel (Hirst, 2015).

4. Korelácia medzi HDP a počtom prepravených cestujúcich

Existuje téza, ktorá tvrdí, že s rastom hrubého domáceho produktu krajiny pribúda aj cestujúcej verejnosti. Ak to zjednodušíme, tak môžeme povedať, že ak sa krajine ekonomicky darí a ľudia majú vyššie príjmy, tak začnú aj viac cestovať. Samozrejme platí to aj opačne, s poklesom HDP krajiny cestujúcich ubúda, keďže cestovanie lietadlom je prvá vec, ktorú ľudia obmedzia pri finančne ťažších časoch.

Pre objasnenie pojmu korelačný koeficient, ktorý nájdeme aj v Tab. 2., je potrebné pochopiť, čo výsledné číslo znamená. Korelačný koeficient (teda hodnota medzi -1 a +1) nám uvádza, ako silne sú dve premenné navzájom prepojené. Čím je výsledné číslo bližšie k +1, tým je korelácia medzi získanými dátami silnejšia a ide o pozitívnu koreláciu. Ak je korelácia bližšia k -1 teda záporná, korelácia medzi dátami slabne. Samotná korelácia bola počítaná pomocou programu Microsoft Excel a vzorec vyzerá nasledovne (Block, 2020).

$$\text{Correl}(X, Y) = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad (1)$$

Samotná korelácia sa okrem rozdelenia na pozitívnu a negatívnu líši aj podľa hodnoty korelačného koeficientu. Ak teda hovoríme o pozitívnej korelácií, tak jej jednotlivé členenie nájdeme v Tab. 2.

Tabuľka 1: Interpretácia korelačného koeficientu podľa Cohena. Zdroj: (Kadlečík, 2020).

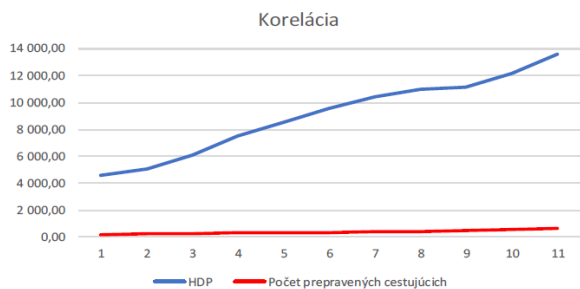
0 – 0,1	Triviálna korelácia
0,1 – 0,3	Malá korelácia
0,3 – 0,5	Stredná korelácia
0,5 – 0,7	Veľká korelácia
0,7 – 0,9	Veľmi veľká korelácia
0,9 – 1,0	Takmer dokonalá korelácia

V našom prípade, v Tab. 3 vidíme, že korelačný koeficient medzi HDP a počtom prepravených cestujúcich je pozitívny, blížiaci sa k hodnote +1. Podľa Tab. 2 ide o takmer dokonalú koreláciu. O zjavnej korelácií našich dát sa môžeme presvedčiť aj v Obr. 3, ktorá pozostáva z grafickej reprezentácie uvedených údajov.

Tabuľka 2: Prehľad údajov o HDP Číny a prepravených cestujúcich medzi rokmi 2008 – 2018. Zdroj: Autori.

Rok	HDP (mld. USD)	Prepravení cestujúci (mil.)		
2008	4594,31	192,51		
2009	5101,70	230,52		
2010	6087,16	267,69		
2011	7551,50	293,17	Korelačný koeficient	0,969490571
2012	8532,23	319,36		
2013	9570,41	353,97		
2014	10438,53	391,95		
2015	11015,54	436,18		
2016	11137,95	487,96		
2017	12143,49	551,56		
2018	13608,15	611,74		

Zo získaných údajov môžeme naozaj potvrdiť, že existuje korelácia medzi týmito dvoma veličinami. Na príklade krajiny akou je Čína je tento trend veľmi jasne viditeľný. Tak, ako rastie HDP krajiny, rovnako prudko narastá aj počet prepravených cestujúcich. Samozrejme, za tento trend nemôže iba samotná ekonomická situácia v krajine, ale rovnako tak aj investícia do infraštruktúry a cestovného ruchu. Údaje v stĺpci HDP sú uvádzané v miliardách dolárov a stĺpec počtu prepravených cestujúcich zase uvádza údaje v miliónoch.



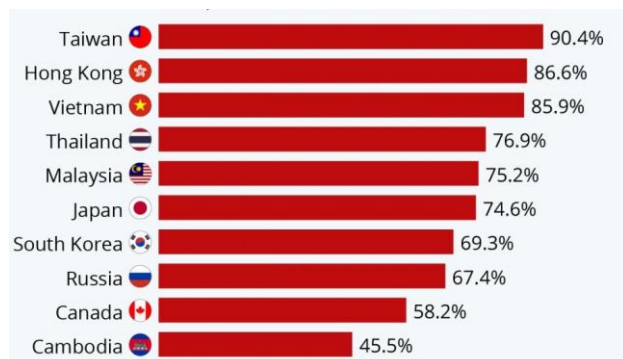
Obrázok 3: Korelácia medzi HDP a počtom prepravených cestujúcich v Číne. Zdroj: Autori.

5. COVID-19

Nový druh korona vírusu už stihol spôsobiť aj výrazné ekonomické škody aj v oblasti leteckého priemyslu. Začiatkom februára začali postupne rušiť lety do Číny všetky veľké americké aj európske letecké spoločnosti. V tom istom čase nelietalo do Číny už viac ako 62 leteckých spoločností a situácia sa vyvinula tak, že sa letecká doprava v celej krajine na istý čas dokonca úplne zastavila (Reece, 2020).

Podľa súčasných odhadov Medzinárodného združenia leteckých dopravcov IATA spôsobí leteckým spoločnostiam šírenie ochorenia COVID-19 stratu vo výške 63 až 113 miliardy dolárov. Suma môže byť oveľa vyššia, keďže nikto nevie presne predpovedať, kedy sa epidémia skončí a ľudia nadobudnú pocit bezpečnosti pri lietaní. Je dosť možné, že až tretinu z tejto sumy bude predstavovať iba strata čínskych leteckých spoločností na vlastnom domácom trhu. Je totiž pochopiteľné, že ľudia kvôli vzniknutej situácii prehodnocujú všetky svoje naplánované lety, či už sú súkromné alebo pracovné. Situáciu leteckým spoločnostiam neufahňujú ani cestovateľské výstrahy ostatných štátov, ktoré svojim občanom výrazne neodporúčajú cesty do Číny. Predpokladá sa však, že čínska vláda finančne podporí dopravcov hneď, ako sa situácia s nákazou dostane pod kontrolu. Už v súčasnosti sa ukazuje, že Čína aj napriek počiatočnej kritike šírenie vírusu dokázala situáciu dostať pod kontrolu. Je však otázne, ako sa celá situácia vyvinie vo svete, keďže vírus sa výraznejšie šíri na všetkých kontinentoch (Reece, 2020), (Pearce, 2020).

Na obrázku 4 môžeme vidieť pokles kapacity medzinárodných letov po vypuknutí epidémie korona vírusu.



Obrázok 4: Pokles kapacity medzinárodných letov po vypuknutí epidémie korona vírusu. Zdroj: (Statista, 2020).

6. Záver

Potenciál Číny rásť v oblasti leteckej dopravy sme dokázali okrem matematických modelov aj súčasnými stavom leteckej dopravy v čínskom regióne. Všetky dáta ukazujú, že tak, ako bude rásť ekonomika Číny, rovnakým tempom bude rásť aj hustota leteckej dopravy v tejto krajine.

Čína predstavuje nový rozhodujúci trh pre leteckú dopravu. Aj napriek neočakávaným výpadkom, akými sú rôzne pandémie alebo prírodné katastrofy, bude tento trh naďalej rásť. Bude to aj rozhodujúce bojisko medzi výrobcami lietadiel. Ten, ktorému sa podarí čínskej vláde predať viac lietadiel, dostane obrovskú strategickú výhodu nad svojou konkurenciou. S ďalším rozvojom leteckého priemyslu sa na trhu zvýši aj konkurencia a je teda možné, že z toho nakoniec vyjde ako víťaz práve cestujúci, ktorý sa dopraví za čo možno najnižšiu cenu do svojej destinácie. Prvé, pomerne lacné letenky čínskych spoločností sa totiž objavili v Európe už pred vypuknutím pandémie korona vírusu.

Referencie

- Block, T.: *What is Correlation?* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://www.displayr.com/what-is-correlation/>>
- Cerini, M.: *Inside Daxing, Beijing's Massive New International Airport.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://www.cntraveler.com/story/inside-beijing-daxing-international-airport>>
- Davis, M.: *Country Reports - China. Regional Reports - North Asia.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://www.iata.org/publications/economics/Reports/regional-reports/North-Asia-Feb19.pdf>>
- Hirst, T.: *A brief history of China's economic growth.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://www.weforum.org/agenda/2015/07/brief-history-of-china-economic-growth/>>
- Kadlečík, M.: *Základné štatistické metódy.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://amos.ukf.sk/mod/book/view.php?id=8452&chapterid=3191>>
- Pearce, B.: *COVID -19 Updated Impact Assessment.* [cit. 24.03.2020]. Dostupné na: <<https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/third-impact-assessment/>>
- Reece, O.: *Coronavirus outbreak to cost airlines almost \$30bn.* [cit. 24.03.2020]. Dostupné na: <<https://www.bbc.com/news/business-51499779>>
- Smith, R.: *Regional Reports - Asia Pacific.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://www.iata.org/publications/economics/Reports/regional-reports/Asia-Pacific-August19.pdf>>
- Statista. *Koronavirus utínil letecké spojenie Ázie so svetom.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na: <<https://img.projektn.sk/wp-static/2020/03/21027.jpg?fm=jpg&q=85&w=1000>>
- Williams, M.: *Country Reports - China.* [cit. 17.04.2020]. Dostupné na:

<<https://www.iata.org/publications/economics/Reports/voa-country-reports/2018/ap-china-2018.pdf>>

Williams, M.: *IATA Annual Review 2018*. [cit. 17.04.2020].
Dostupné na:
<<https://www.iata.org/en/publications/standards-manuals/Documents/iata-annual-review-2018.pdf>>

INOVATÍVNY PRÍSTUP K HODNOTENIU SLUŽIEB V BIZNIS LETECTVE

INNOVATIVE APPROACH TO THE EVALUATION OF THE BUSINESS AVIATION SERVICES

Júlia Hankovská
ABS Jets
K Letišti 549 – Hangár C
161 00 Praha 6 – Ruzyně
Česká republika
julia.hankovska@gmail.com

Benedikt Badánik
Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 8215/1
010 26, Žilina
benedikt.badanik@fpedas.uniza.sk

Abstract

The aim of the paper to analyze the current approach to the evaluation of services in the business aviation sector and to propose an innovative approach to the evaluation of these services with regard to selected aspects of passenger transport, especially their comfort. The paper describes a new approach that uses and processes operational data from questionnaire surveys among passengers and aims to improve services provided to passengers in the business aviation sector by examining the most important factors that affect passenger comfort in this segment. Paper also analyzes the degree of importance of individual factors for different types of passengers.

Key words

passenger services, business aviation, innovation

1. Úvod

Po rýchlosti, bezpečnosti a spoľahlivosti dopravného spojenia je komfort cestujúcich jedným z najdôležitejších faktorov ovplyvňujúcich spokojnosť cestujúcich v leteckej doprave. Potvrďuje to aj výskum Richardsa (1974), ktorý tvrdí, že len keď sa človek cíti komfortne je spokojný. Podľa Vinka (2012), komfort v letectve je spojený s interiérovým dizajnom kabíny a jej fyzikálnymi charakteristikami, ako aj s pozornosťou posádky a predletovými službami. Quehl (2001) tvrdí, že pocit komfortu je ovplyvnený veľkým množstvom fyzikálnych a psychologických faktorov. Špecifické postavenie má komfort cestujúcich v prípade biznis letectva. Komfort je dôležitým aspektom pri rozhodovaní cestujúceho využiť služby leteckých spoločností. (Bugaj et al., 2016). Tento článok mapuje špecifiká preferencií klientov biznis letectva, popisuje spôsoby ako k informáciám o špecifických preferenciách svojich klientov prístupujú letecké spoločnosti v biznis letectve a navrhuje inovatívny spôsob zlepšenia spracovania týchto informácií, za účelom ich využitia pri zvyšovaní komfortu cestujúcich.

Podľa Európskej Asociácie Biznis Letectva (EBAA, 2016) tvorili obchodné/súkromné lety v roku 2016 v Európe 7,5% všetkých letov, čo je nárast o 1,7% oproti roku 2015. Pred vypuknutím globálnej pandémie vírusu COVID19 sa očakávalo, že objem počtu letov obchodného letectva v Európe stúpne do roku 2020 na 35000 letov ročne (Eurocontrol, 2016), čo sa nepotvrdilo. Richards a Jacobson (1974) skúmali hodnotenia komfortu cestujúcimi vo vzťahu k ochote letieť znova. Výsledky ukázali, že 67% cestujúcich, ktorí sa cítili pohodlne počas letu sa doslova tešilo na ďalší let. A naopak, len 16% z cestujúcich, ktorí hodnotili let ako veľmi nekomfortný, bolo ochotných letieť znova. Aj Brauner (2006) tvrdí, že faktory komfortu spojené s prostredím lietadlovej kabíny sú súčasťou rozhodovacích kritérií cestujúcich pri výbere leteckej spoločnosti. Štúdia Dumura a kol. (2004) predpokladá, že let na

ktorom sa cestujúci cítia komfortne je bezpečnejší ako let, kde sa cestujúci cítia nepohodlne. Zlepšovanie služieb a procesov vedie k lojalite klientov a zvýšeniu bezpečnosti, preto je nevyhnutné mať spoľahlivé ukazovatele, prostredníctvom ktorých je možné kvalitu služieb v biznis letectve merať (Novák, 2006).

Kvalitu služieb poskytovaných v biznis letectve budeme v tomto článku vyhodnocovať použitím nasledovných techník skúmania: pozorovaním (priamym pozorovaním spôsobu poskytovania jednotlivých služieb alebo vyhľadávaním záznamov o poskytovaných službách, kapitola 4.1), rozhovorom (so zástupcami 10 spoločností z oblasti biznis letectva, kapitola 4.2) a vizualizáciou (Obrázky 2 a 4).

2. Súčasný stav

Quehl (2001) analyzoval faktory, ktoré najviac ovplyvňujú pocit komfortu cestujúcich v segmente biznis letectva.

Tabuľka 1: Faktory komfortu cestujúcich biznis letectva. Zdroj: Autori.

Faktory ovplyvňujúce pocit komfortu cestujúcich biznis letectva	Podiel respondentov, pre ktorých mal daný faktor najväčší vplyv na pocit komfortu (v %)
nízka hlučnosť	20,8
malé vibrácie	14,2
žiadne turbulencie	13,2
žiadne rušivé zvuky	11,3
pohodlné sedadlá	10,4
adekvátny priestor na nohy (pri sedení)	8,5
dobré služby a jedlo	7,5
príjemné prostredie (teplota a vlhkosť vzduchu)	5,7
tlak vzduchu v kabíne	2,8

miesto pri okne	1,9
pocit bezpečia	1,9
možnosť relaxu	0,9
čistota interiéru	0,9

Tabuľka 3 zobrazuje analýzu odpovedí 1134 respondentov na otázku, čo je pre nich najdôležitejšie, aby sa cítili pohodlne na palube.

Penning, Quehl a Rolny (2012) vo svojej štúdii tvrdia, že pocit komfortu cestujúcich v kabíne biznis lietadiel závisí od hladiny akustického hluku. V prípade akustického hluku však pocit komfortu cestujúcich na palube ovplyvňujú najmä rôzne frekvencie hluku. Zo štúdie vyplýva, že pri rovnakých hodnotách akustického hluku v kabíne lietadla sa cestujúci cítia najlepšie v zadnej časti kabíny.

Komfort je dôležitým aspektom pri letaní a súvisí s tým aj to či si cestujúci rezervuje s rovnakou leteckou spoločnosťou let znovu (Matas, M. & Novak, A., 2008). Obzvlášť to platí v biznis letectve. Jemné faktory, ako pozornosť posádky, či predletový servis zohrávajú úlohu, ale fyzické vlastnosti, ako napríklad vlastnosti sedadla, sú rovnako dôležité. Existujú aj procesy, ktoré sa navzájom ovplyvňujú. Cestujúci sú si vedomí aspektov vplývajúcich na komfort, ako priestor na nohy, čistota, pozornosť posádky, či vlastnosti sedadla (Vink, 2012).

Brauer (2006) poukázal na to, že prostredie kabíny veľmi výrazne prispieva k dobrému menu leteckej spoločnosti medzi cestujúcimi a najmenej 35% cestujúcich na medzikontinentálnych letoch vychádza pri výbere leteckej spoločnosti z komfortu, a teda pochopenie rôznych aspektov pohodlia cestujúcich je rozhodujúce pre renomé a prevádzkové výsledky leteckých spoločností.

Štúdia Ahmadpoura (2016), zameriavajúca sa na komfort uvádza, že je potrebné odstrániť zdroje fyzického nepohodlia, aby bolo možné zabezpečiť komfort cestujúcich. Osem faktorov ovplyvňujúcich komfort sa všeobecne vzťahuje na veličiny komfort a diskomfort: pokoj, fyzická pohoda, spokojnosť, potešenie, sociálny faktor, estetika a asociácie.

Z práce Vinka (2011) vyplýva, že vnímanie pohodlia a nepohodlia v lietadle je ovplyvňované fyzickými a psychologickými aspektmi, objektom, prostredím a kontextom. S týmto tvrdením súhlasí aj Kolich (2008). Niektorí výskumníci zastávajú názor, že komfort a diskomfort sú odlišné javy, ktoré možno nezávisle merať a že neprítomnosť diskomfortu nemusí nutne znamenať prítomnosť komfortu (Sauter, 2005). Človek hrá dôležitú úlohu pri identifikácii aspektov komfortu (Vink, 2004). Jednotlivci majú rovnaké senzorické chápanie objektov, avšak rovnaké objekty vyvolávajú rôzne emócie súvisiace s variabilitou osobností (Van Haperen, 2004).

Nepohodlie je zložitý termín na definovanie. V závislosti od kontextu a účelu môže byť interpretovaný mnohými spôsobmi. Pre cestujúcich, ktorí nevykonávajú žiadne povinné úlohy, sa nepohodlie môže týkať všeobecného pocitu bolesti, neschopnosti zaspania a ťažkosti pri čítaní a písaní (Oborne, 1977).

Nepohodlie je spojené s biomechanickými faktormi (klíby, svalové kontrakcie, rozloženie tlaku) ktoré spôsobujú pocity bolesti, znečistenie, tuhosť a tak ďalej. Pocity diskomfortu sa

zvyšujú časom a únavou. Podľa Ahmadpour (2016), nepohodlie môže byť znížené odstránením fyzických obmedzení, ale to nevyhnutne neprináša pohodlie. Komfort je spojený s pocitom oddychu a blahobytu. Pocit pohodlia môže byť zosilnený estetickým dizajnom sedačky alebo priestoru. Neprítomnosť týchto pocitov však nebude viesť k nepohodlnosti, pretože k tomu sú nevyhnutné nepriaznivé biomechanické podmienky (Zhang, 1996).

Komfort cestujúcich je jedným z rozhodujúcich faktorov pri posudzovaní kvality služieb poskytovaných spoločnosťami v biznis letectve. Je to tiež jeden z hlavných rozhodovacích prvkov cestujúcich v biznis letectve pri výbere spoločnosti. Článok sa preto ďalej zaoberá inovatívnym návrhom systému využitia dát spojených s komfortom cestujúcich na zlepšenie služieb poskytovaných cestujúcim biznis letectva. Sledovanie, spracovávanie a využívanie dát má v súčasnosti čoraz väčší význam aj v sektore biznis letectva. Dôkazom sú aj výsledky narastajúcej implementácie tzv. Data Driven Company modelu, kedy všetky strategické rozhodnutia firmy sú prijímané na základe dát.

3. Súčasná prax zisťovania komfortu cestujúcich v biznis letectve

S cieľom získať informácie o súčasnom prístupe k faktorom komfortu v biznis letectve a o využívaní dát týkajúcich sa spokojnosti klientov a o zlepšovaní procesov vedúcim k zvyšovaniu komfortu cestujúcich sme absolvovali stretnutia s 13 odborníkmi z 10 spoločností biznis letectva lokalizovaných na československom trhu (ABS JETs, Eclair aviation, Charter Advisory, ELITE JET, Time Air, Airstream, 5StarJet Travel, JetBee Czech, AMF CZECH a Exclusive Tours).

Stretnutia prebiehali formou interview. Tvrdenia sa mierne odlišovali vzhľadom na to, či opýtaný pôsobí v leteckej spoločnosti, ktorá prenájíma svoje lietadlá alebo sprostredkúva (brokerage) lety a servis s tým spojený. Odchýlky boli však veľmi malé. Výsledky odpovedí na jednotlivé otázky sú spracované v kapitole 3.1.

3.1. Čo klienti požadujú?

Na aké služby sa klienti pýtajú, prípadne aké služby požadujú pri požiadavke na spracovanie ponuky. Napríklad internet na palube, transport z a na letisko, čo obsahuje občerstvenie, prítomnosť letušky, čo je v cene a čo je za doplatok.

Z odpovedí odborníkov vyplýva, že biznis letectvo dosahuje takmer najvyššiu úroveň komfortu. Preto aj klienti očakávajú najvyššie vybavenie a služby najvyššej úrovne. Medzi najčastejšie vyhľadávané služby patrí²:

Občerstvenie (catering) je jedna z najčastejších požiadaviek. Niektoré spoločnosti majú určitú úroveň cateringu v cene, závisí od kategórie lietadla. Ďalšia možnosť je, že si klienti sami nadiktujú čo chcú. V lietadlách kde je vstavaná mikrovlnná rúra je možnosť aj teplého jedla, na obsluhu je už ale vhodná aj prítomnosť letušky. V tomto segmente dopravy je kladený veľký dôraz na kvalitu jedla. Občerstvenie uvedomelo

² Na základe osobných konzultácií so zástupcami spoločností: ABS Jets, Eclair Aviation, Charter Advisory, Elite Jet, Time Air, Airstream, 5StarJet Travel, JetBee Czech, AMF CZECH a Exclusive Tours.

prispôsobené na každý let so zreteľom na dĺžku letu a na klientov (hlavne ak sú to lojálni klienti) je jedným z faktorov, ktorého kvalitu dokáže letecká spoločnosť najviac ovplyvniť.

Internet a telefón na palube. Nie sú však štandardom vo väčšine kategórií lietadiel (až od kategórie tzv. large). Na kratšie lety klientom nechýba. Pýtajú sa na wifi, prípadne aspoň elektrickú zásuvku na dobíjanie elektronických zariadení.

Prítomnosť letušky na palube. Informácia o možnosti využitia služieb letušky na palube je zvyčajne poskytnutá zákazníkom pri vytvorení ponuky a teda skôr ako sa klienti opýtajú. Niektorí klienti si vyslovene neprajú prítomnosť letušky na palube, najmä kvôli rokovaniu a citlivým informáciám, kedy letuška narušuje súkromie. Východoeurópski klienti sa naopak pýtajú na letušky. Pri menších lietadlách je prítomnosť letušky na palube na úkor doletu (hlavne pri vyššom počte cestujúcich).

Klienti majú často požiadavky na rok výroby lietadla, či technický stav lietadla, prípadne aj nálet posádky, niekedy ich zaujíma zloženie posádky (či je v posádke žena). Majú radi rovnakých pilotov na letoch. Vek lietadiel je dôležitý faktor. Žiadajú si posádku, s ktorou už leteli (zo strany cestujúcich ide o vyjadrenie spokojnosti a dôvery ku konkrétnej posádke).

Stretnutie na letisku. Či už je to privítanie kapitánom, concierge, handlingovým agentom alebo aj pracovníkmi obchodného oddelenia, s ktorými klient komunikoval, prípadne aj viacerými zamestnancami spoločnosti. Dôležité je tiež presné dohodnutie miesta stretnutia a maximálne eliminovanie čakacej doby klienta. Pridanou hodnotou biznis letectva je čakanie na klienta, ak mešká.

Jednou z hlavných črt biznis letectva je súkromie, a preto aj klienti oceňujú prechod letiskom cez VIP prechody, prípadne oddelené odbavenie od komerčnej dopravy (Kazda, 2017).

Ďalším veľmi dôležitým faktorom pre mnohých klientov je možnosť prítomnosti zvierat na palube. Aj v biznis leteckej doprave sú obmedzenia pre pobyt zvierat na palube, ale miernejšie ako v komerčnej pravidelnej leteckej doprave. Mnohé spoločnosti majú limity na váhu zvieraťa – do 8kg, či podmienku prítomnosti kletky na palube z bezpečnostných dôvodov.

Veľkosť lietadla je faktor, ktorý je daný výlučne kategóriou lietadla a je ťažko ovplyvniteľný ale je pre klientov súkromného letectva dôležitý. Hlavne ženy majú pocit väčšieho komfortu vo väčšej priestrannejšej kabíne. Priestranosť ovplyvňuje aj rozloženie sedačiek a ďalšieho zariadenia.

Limity na objem a hmotnosť batožiny. Aj to môže byť rozhodujúci faktor pri voľbe lietadla. Napríklad rôzne športové výbavy ako lyžiarska výstroj, surf a pod.

Toaleta na palube sa zdá byť ako samozrejmosť ale pri nižšej kategórii lietadiel, kde je kabína pomerne malá sa toaleta síce nachádza ale je potrebné zvážiť, či je jej využitie v takýchto lietadlách pre klientov komfortné.

Mini bar v lietadle je štandard, nachádza sa na palube pred každým letom plný, spravidla už v cene letu.

Plne sklopiteľné sedadlá. Ide o požiadavku klientov najmä na dlhých a ultra dlhých letoch.

Fajčenie na palube lietadla je faktor, ktorý je niektorými klientami vyhľadávaný a inými práve naopak, odmietaný. Významnú úlohu zohráva lokalita, z ktorej klienti pochádzajú. Napríklad v Rusku fajčenie na palube je vyhľadávané častejšie ako v iných krajinách Európy.

Niekedy sa klienti pýtajú na osobný zábavný systém. Skúsenejších klientov tiež zaujíma, či sú poplatky v cene.

Technické medzipristátie, klienti preferujú let bez technického medzipristátia, rovnako ako aj posádky.

Na noviny sa nepýtajú, ani sa nestážujú, že ich nemajú. V niektorých spoločnostiach sú štandardom ako malá náhrada internetu, aby si mali cestujúci čo čítať počas letu. Dôležitá je správna voľba jazyka novín.

Kvety od prípadu k prípadu, závisí od klienta, či je nový, či už lietal s niekým iným – subjektívne vyhodnotenie a rozhodnutie. Vzhľadom na malú kabínu sa kvety v malých lietadlách eliminujú.

Správanie posádky. Pri letoch bez letušky posádka dáva briefing pred letom a ak má možnosť venuje sa servírovaniu, nedá sa to ale zaručiť pre každý let.

Často platí, že ľudia sa nepýtajú, oceňujú to čo im ponúkne samotná spoločnosť, oceňujú individuálny a proaktívny prístup zamestnancov obchodného oddelenia. Takýto prístup je tiež aspekt, ktorý je pomerne ľahko ovplyvniteľný a môže súkromnej leteckej spoločnosti priniesť veľkú konkurenčnú výhodu najmä pri ponúkaní služieb lojálnym klientom.

V prípade akýchkoľvek komplikácií s letom, napríklad rôzne regulácie, obmedzenia, či poveternostné obmedzenia, zamestnanci spoločnosti musia hľadať vhodné alternatívy bez vyzvania klienta.

Najmä noví klienti oceňujú niečo navyše, napríklad komplimentku, či sekt zadarmo, alebo obdarovanie klienta spoločnosťou, keď má klient sviatok, či výročie. Napríklad: personalizovaná firemná čokoláda, a podobne.

4. Inovatívny prístup k hodnoteniu služieb cestujúcim v biznis letectve

V tejto časti článku popíšeme najdôležitejšie faktory komfortu, určíme ich kľúčové ukazovatele, spôsob získania potrebných dát z prevádzky a navrhne inovatívny systém využitia dát spojených s komfortom cestujúcich na zlepšenie služieb poskytovaných cestujúcim biznis letectva. Návrh systému využitia dát spojených s komfortom cestujúcich bol konzultovaný s odborníkmi z praxe (pozri poznámka pod čiarou na str. 2).

Výstižné zobrazovanie dát je jedno zo základných kritérií pre správne vyhodnotenie dát. V súčasnosti čoraz viac spoločností využíva spôsob riadenia tzv. „Data Driven Company“. Keď spoločnosť využíva tento prístup, znamená to, že prijíma strategické rozhodnutia na základe analýzy a interpretácie údajov. Prístup založený na údajoch umožňuje spoločnostiam skúmať a organizovať svoje dáta s cieľom lepšie slúžiť svojim zákazníkom a spotrebiteľom.

V tejto časti uvádzame návrh zobrazovania dát spojených s komfortom v kľúčovej oblasti „Lietadlo – vlastnosti kabíny

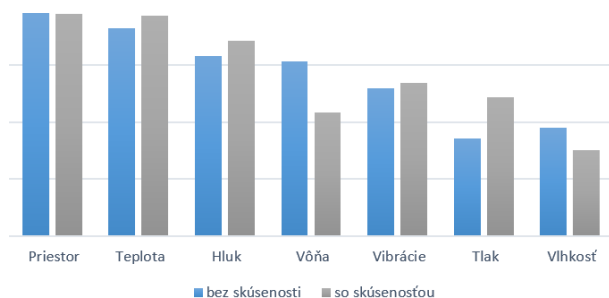
lietadla“ a na príklade demonštrujeme aj využitie týchto dát. Rovnakým spôsobom je možné spracovať aj iné kľúčové oblasti komfortu: „Let“ a „Ostatné služby“.

4.1. Komfort cestujúcich vo vzťahu k vlastnostiam kabíny lietadla

Očakávanie cestujúcich s ohľadom na vlastnosti lietadla, ktorým letia a komfort, ktorý im lietadlo poskytuje sú rôzne. Všeobecne je možné konštatovať, že cestujúci, ktorí cestujú častejšie kladú vyššie nároky na komfort. Aby bolo možné stanoviť, ktoré faktory ovplyvňujú cestujúcich z hľadiska komfortu najviac, urobili sme dotazníkový prieskum. Zameriaval sa na zisťovanie faktorov, ktoré cestujúci považujú za najdôležitejšie pokiaľ ide o ich komfort na palube. Prieskumu sa zúčastnilo 189 respondentov, ktorí často lietajú (išlo o respondentov, ktorí vykonajú aspoň 10 spätičlných ciest lietadlom ročne). 44% respondentov tvorili ženy, 56% mužů vo veku od 20 do 50+ rokov v geografickej oblasti strednej Európy. Nešlo len o cestujúcich v biznis leteckej doprave, ale aj cestujúcich, ktorí s takýmto typom lietania nemajú osobnú skúsenosť. Vznikajú dve skupiny respondentov a to cestujúci, ktorí nikdy nevyužili iný druh leteckej dopravy ako lety komerčných liniek a cestujúci, ktorí využívajú linky komerčných aerolínií ale majú minimálne jednu skúsenosť aj s biznis letectvom (38% respondentov prieskumu), a teda dokážu hodnotiť úroveň komfortu aj v segmente biznis letectva.

Dotazník obsahuje dva typy otázok. Jeden typ otázok (typ A) bol zameraný na hodnotenie dôležitosti faktorov v jednotlivých oblastiach. Druhý typ otázok (typ B) bol zameraný na zistenie vplyvu faktorov na komfort alebo diskomfort.

Typ A bol založený na číselnom hodnotení faktorov, pričom najvyšší počet bodov reprezentoval najvyššiu dôležitosť. Respondenti hodnotili dôležitosť jednotlivých faktorov stupňom 5 (najdôležitejší) až po stupeň 1 (najmenej dôležitý). Obrázok znázorňuje jednotlivé faktory, ovplyvňujúce komfort cestujúcich (zostupne zľava doprava) podľa dôležitosti, ktorú im pripisujú respondenti dotazníkového prieskumu.

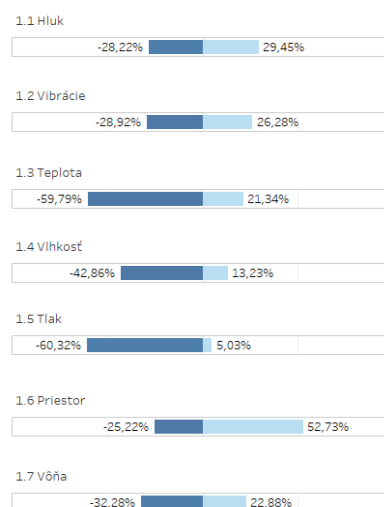


Obrázok 1: Vlastnosti kabíny lietadla, ovplyvňujúce komfort cestujúcich (zostupne zľava doprava) podľa dôležitosti, ktorú im pripisujú respondenti dotazníkového prieskumu (modrou farbou cestujúci bez skúsenosti s biznis letectvom, sivou farbou so skúsenosťou s biznis letectvom). Zdroj: Autori

Typ B pozostával z priradenia hodnoty komfort, diskomfort alebo štandard k jednotlivým tvrdeniam súvisiacim s hodnoteným faktorom, následne boli vytvorené percentuálne porovnania komfortu a diskomfortu k jednotlivým faktorom. Výsledky sú prezentované v jednotlivých oblastiach, kde mínusovými percentuálnymi hodnotami je označovaný diskomfort (tmavomodrá farba) a kladnými percentuálnymi

hodnotami je označený komfort (svetlomodrá farba) (Obrázok 2).

Obrázok znázorňuje ako faktory vlhkosť a tlak ovplyvňujú pohodlie cestujúcich hlavne v negatívnom zmysle. Na dostupnej škále – diskomfort, štandard a komfort sú tieto ukazovatele pozorované najmä v negatívnej a neutrálnej časti. Práve tieto dva aspekty sú tiež hodnotené za najmenej dôležité. Teplota má tiež takmer 60% na strane diskomfortu ale aj strana komfortu už zaznamenáva nárast na viac ako 20%. Priestor zobrazuje vysoký pocit komfortu v prípadoch, keď mali respondenti voľný prechod do uličky, či samostatné sedadlo, avšak až 76% sa cítilo nekomfortne v prípade, že nemali dostatočný priestor pre nohy.

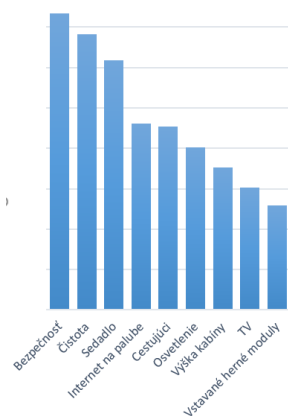


Obrázok 2: Percentuálny podiel respondentov, pre ktorých jednotlivé faktory znamenajú komfort (svetlomodrá farba), resp. diskomfort (tmavomodrá farba). Zdroj: Autor.

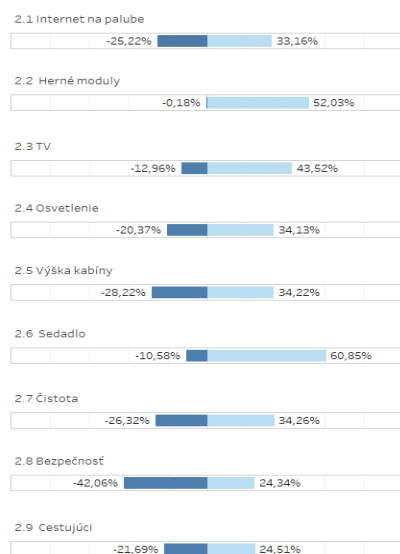
4.2. Komfort cestujúcich vo vzťahu k vybaveniu lietadla

Nasledujúca časť popisuje vplyv vybavenia lietadla na vnímanie komfortu zo strany cestujúcich. V tejto oblasti celkom dominujú faktory bezpečnosť, čistota a vlastnosti sedadla pre cestujúceho. Bezpečnosť sa v tejto práci vníma najmä vo vzťahu k prítomnosti a dostupnosti bezpečnostných pomôcok v núdzových prípadoch. Čistota a vlastnosti sedadla (nie jeho umiestnenie v kabíne) nie je potrebné bližšie špecifikovať. Na ďalších miestach sú internet na palube a prítomnosť iných cestujúcich na palube. V posledných rokoch je internet, ako faktor ovplyvňujúci komfort vnímaný cestujúcimi ako čoraz dôležitejší. Mnoho ľudí ho už dokonca považuje za štandardnú službu poskytovanú spoločnosťou. Výška kabíny a osvetlenie na palube sú ďalšie faktory v poradí, ktoré vplyvajú na cestujúcich počas ich cesty. Osvetlenie je výrazným aspektom najmä počas nočných letov. Cestujúci pociťujú nepohodlie, ak osvetlenie nemôžu žiadnym spôsobom ovplyvniť. Farebné osvetlenie, ktoré na prvý pohľad by mohlo pôsobiť ako výhoda, vyvoláva skôr negatívne pocity na palube lietadla. Na posledných miestach v hodnotení dôležitosti sú televízne obrazovky a vstavané osobné zábavné systémy. Výsledky na obrázku **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** naznačujú, že prítomnosť osobného zábavného systému na palube nemá

zásadný negatívny vplyv na cestujúcich. Neprítomnosť monitorov letu môže vyvolať diskomfort, napríklad u cestujúcich, ktorí sú zvyknutí sledovať priebeh letu na obrazovkách. Nedostatočná výška kabíny lietadla (neumožňujúca klientovi pobyt na palube vo vzpriamenej polohe) je veľkým počtom cestujúcich (80% klientov) vnímaná negatívne. Naopak len približne u polovice respondentov je vysoká kabína vnímaná ako komfort, druhá polovica ju považuje za štandard.



Obrázok 3: Vybavenie kabíny a iné faktory, ovplyvňujúce komfort cestujúcich počas letu (zostupne zľava doprava) podľa dôležitosti, ktorú im pripisujú respondenti dotazníkového prieskumu. Zdroj: Autori.



Obrázok 4: Percentuálny podiel respondentov, pre ktorých jednotlivé faktory znamenajú komfort (svetlomodrá farba), resp. diskomfort (tmavomodrá farba). Zdroj: Autori

Dotazníkový prieskum zisťoval dôležitosť aj ďalších faktorov ovplyvňujúcich komfort cestujúcich biznis leteckva. išlo o profesionalitu a prívetivosť palubného personálu, dostupnosť doplnkových služieb a včasnosť a presnosť informácií súvisiacich s letom. Výsledky z týchto oblastí v článku neuvádzame.

5. Záver

Z dotazníkového prieskumu bolo určených celkom 28 faktorov (Tabuľka), ktoré majú podstatný vplyv na komfort cestujúcich v biznis leteckve.

Tabuľka 2: Faktory komfortu cestujúcich biznis leteckva a spôsob získavania informácií o jednotlivých faktoroch. Zdroj: Autori.

Faktory ovplyvňujúce komfort cestujúcich v biznis leteckve	Spôsob získavania dát
Internet na palube	IT monitorovanie / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Telefón na palube	IT monitorovanie / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Catering	Evidencia posádkou / Spätná väzba od klientov
Letuška	Spätná väzba od klientov / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Rok výroby lietadiel	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Nálet posádky	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Individuálna starostlivosť	Spätná väzba od klientov
Stretnutie na letisku	Evidencia posádkou / Spätná väzba od klientov
Zvieratá	Spätná väzba od klientov / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Fajčenie - zákaz	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Maličkosť (prekvapenie)	Evidencia posádkou / Spätná väzba od klientov
Veľkosť lietadla	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Toaleta	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Doplnkové služby (transport)	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
VIP odbavenie	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Bar v lietadle	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Entertainment	IT monitorovanie / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Polohovateľné sedadlá	Evidencia posádkou / Spätná väzba od klientov
Noviny	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Kvety	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Správanie posádok	Spätná väzba od klientov
Fuel stopy	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Batožina	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Súkromie	Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Čistota	Spätná väzba od klientov
Flexibilita	IT monitorovanie / Zaznamenávanie obchodných zástupcov
Správanie obchodných zástupcov	Spätná väzba od klientov
Organizácia	IT monitorovanie / Zaznamenávanie obchodných zástupcov

Prieskum priradil jednotlivým faktorom dôležitosť. Vyplývajú z rozhovorov, jednotlivé faktory je účelnejšie zoskupovať do 3 kľúčových oblastí: vlastnosti lietadla, let a ostatné služby. Výsledky ukázali, že najdôležitejšími faktormi ovplyvňujúcimi komfort cestujúcich v biznis leteectve sú flexibilita itinerára, správanie sa posádok, čistota interiéru lietadla, organizácia letu, individuálna starostlivosť a catering.

Inovatívny prístup k hodnoteniu faktorov komfortu v biznis leteectve spočíva v tom, že každému faktoru sú na základe údajov, ktoré faktor opisujú zadané indikátory, ktoré reflektujú úroveň faktora. Základom kľúčových ukazovateľov sú dáta, podporné merania, ktoré sú evidované a spracovávané. Spôsoby akými je možné tieto dáta získavať sú napr.: evidencia posádkou, zaznamenávanie obchodnými zástupcami, IT monitorovaním a evidenciou a tiež spätnou väzbou od klientov, toto je však spontánny, nepravidelný a nepovinný spôsob, na ktorý sa nie je možné plnohodnotne spoľahnúť. Ako bolo potvrdené aj zástupcami spoločností, priamy prieskum u klientov nie je možné využívať pravidelne, dokonca aj jednorazový prieskum vidia problematicky.

Na záver je možné konštatovať, že faktory komfortu ako subjektívnej oblasti je možné merať cez stanovené kľúčové ukazovatele a podporné merania získavajúce dáta k výpočtu kľúčových ukazovateľov môžu byť stanovované bez priameho prieskumu cestujúcich, čím je eliminovaná subjektivita a vďaka zvýšenej objektívnosti výsledkov, môžu byť výsledky využívané aj ďalšími oddeleniami spoločnosti.

Predmetom ďalšieho výskumu v oblasti kvality služieb poskytovaných v sektore biznis leteectva môže byť návrh efektívneho spôsobu uplatňovania aspektov najviac ovplyvňujúcich kvalitu služieb v biznis leteectve už pri vytváraní produktového portfólia jednotlivých prevádzkovateľov. Skúmané ukazovatele (prezentované v tejto práci) môžu poslúžiť pri stanovovaní dôležitosti jednotlivých súčastí produktu prevádzkovateľa biznis leteckej dopravy a segmentácii trhu.

Referencie

- Ahmadpour, N. & Lindgaard, G. 2016, "Aircraft passenger comfort experience: Underlying factors and differentiation from discomfort", *Applied Ergonomics* 52 (2016) 301-308.
- Brauer, K., 2006, "What is it worth?", [PowerPoint slides]. In: *Aircraft Interior EXPO'06, April 4, 2006, Hamburg, Germany*.
- Bugaj, M., et al., 2016, "International environment analysis - basic assumption for effective international marketing in globalized economy", *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*. - ISSN 1509-5878.
- Dumur, E., Barnard, Y. & Boy, G., 2004, "Designing for comfort." , *Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing*, 111–127.
- EBAA, 2016, "European Country Profile", [Online]. Dostupné: <http://www.ebaa.org/en/facts-figures/bizav-country-profiles-2015-2016.aspx>. [Cit. 23 August 2017]
- Eurocontrol Statfor, 2016, "Network Business Intelligence", [Online]. Dostupné: <https://ext.eurocontrol.int/analytics/saw.dll?Dashboard> [Cit. 23 August 2017]
- Hankovská J., 2016, "Aircraft Operation in Business Aviation", *New Trends in Civil Aviation 2016 Conference*.
- Hankovská J., 2016, "Business Aviation Management and Market", *Perners Contacts Conference*.
- Hankovská J., 2017, "Opportunities and Limits in Business Aviation", *INAIR 2017, 6th International Conference on Air Transport*.
- Hankovská J., 2017, "Services in Business Aviation", *Perners Contacts Conference*.
- Kazda, A., 2017, "Airport Planning and Design – Legal and Professional Competence Requirements", *Civil and Environmental Engineering, Volume 13: Issue 2; Published online: 30 Nov 2017; DOI: <https://doi.org/10.1515/cee-2017-0019>*;
- Kolich M. A., 2008, "Conceptual framework proposed to formalize the scientific investigation of automobile seat comfort.", *Applied Ergonomics* 2008;39:15-27.
- Larry G. Richards, Ira D. Jacobson, 1974, "Ride Quality Evaluation 1: Questionnaire Studies of Airline Passenger Comfort", *Department of Engineering Science and Systems, University of Virginia*.
- Matas, M., Novak, A., 2008, "Models of processes as components of air passenger flow model.", *Komunikacie*, 10(2), 50-54.
- Novák, A., 2006, "Modern telecommunication networks in the aeronautical telecommunication network." *Aviation*, 10(4), 14-17. doi:10.1080/16487788.2006.9635942
- Oborne, D. J., 1977, "Vibration and passenger comfort.", *Applied Ergonomics*, 8, 97-101.
- Quehl, J., 2001, "Comfort studies on aircraft interior sound and vibration.", *University Oldenburg*.
- Sauter SL, et al., 2005, "Musculoskeletal Discomfort Surveys Used at NIOSH.", *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. London: CRC Press; 2005.
- Pennig, S., Quehl, J. & Rolny, V., 2012, "Effects of aircraft cabin noise on passenger comfort.", *Ergonomics*, 1252-1265, DOI: 10.1080/00140139.2012.703698.
- Van Haperen BJA, et al., 2004, "Concept of a Future Nissan Car Interior.", In: *Vink P. Comfort and Design: Principles and Good Practice*. London: CRC Press, 2004.
- Vink P, Bazley C, Kamp I, & Blok M., 2012, "Possibilities to improve the air-craft interior comfort experience.", *Applied Ergonomics* 2012;43(2):354-359.

- Vink P, & Brauer K., 2011, "Aircraft interior comfort and design.", *EUA: CRC Press; 2011. pp. 121.*
- Vink P, Looze M. P. & Kuijt-Evers LFM., 2004, "Theory of Comfort.", *In: Vink P. Comfort and Design: Principles and Good Practice, 2004.*
- Wexler S., Shaffer J. & Cotgreave A., 2017, "The Big Book of Dashboards," 2017, *Published by John Wiley & Sons, ISBN 978-1-119-28278-5*
- Zhang L., M. G., Helander, C. & Drury, G., 1996, "Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting", *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 1996 38: 377.

DOHĽADNOSŤ NA LETISKÁCH SLOVENSKA V JEDNOTLIVÝCH VZDUCHOVÝCH HMOTÁCH

VISIBILITY IN AIR MASSES ON SLOVAK AIRPORTS

Miriám Jarošová

Katedra leteckej dopravy

Žilinská univerzita v Žiline

Univerzitná 8215/1

010 26, Žilina

miriam.jarosova@fpedas.uniza.sk

Abstract

The meteorology plays a very important role in aviation. The weather may negatively affect aircraft not only during flight, but also during critical phases such as takeoff and landing. One of the factors that can make the landing and takeoff challenging is the visibility at the airport. Using the analysis of METAR reports, we tried to find out the dependence of significant visibility changes within different air masses at two airports in Slovakia. For our research the METAR reports from 2016 to 2018 were analyzed.

Keywords

Visibility, air mass, airport Bratislava, airport Košice

1. Prečo nás zaujíma dohľadnosť.

Letecká doprava je už od svojho začiatku úzko spätá s meteorológiou. Aby bolo možné bezpečne plánovať a vykonávať lety je nutné vopred určiť, ktoré meteorologické podmienky sú priaznivé pre let. Pre zistenie meteorologických podmienok sú preto na letiskách inštalované zariadenia, ktoré sú schopné monitorovať stav počas letu a na základe toho vydávajú správy o stave poveternostných podmienok na letisku – METAR. Tieto správy sú určené hlavne pre posádky lietadiel. Posádky ich následne analyzujú a zisťujú, či sú meteorologické podmienky vhodné pre bezpečné vykonanie letu.

Existuje viacero meteorologických faktorov, ktoré z bezpečnostného hľadiska ovplyvňujú priebeh letu. Jedným z veľmi dôležitých faktorov pre bezpečné vykonanie letu, vrátane jeho najkritickejších fáz, ktorými sú vzlet a pristátie, je aj dohľadnosť na letisku, ktorá je uvádzaná aj v správach METAR.

Dohľadnosť je veľmi dôležitý faktor z hľadiska bezpečnosti v leteckej doprave. Poznáme viacero prípadov, keď bola letecká nehoda zapríčinená práve zlou dohľadnosťou. Ako príklad môžeme uviesť jednu z najtragickejších leteckých nehôd, ktorá sa odohrala 27. marca v roku 1977 na letisku na Kanárskom ostrove Tenerife. Pri tejto nehode sa na dráhe zrazili dva veľkokapacitné lietadlá Boeing 747 a zahynulo pri nej 583 ľudí. Príčinou nehody bola chybná komunikácia a hustá hmla na letisku.

1.1. Dohľadnosť ako meteorologický prvok.

„Meteorologickou dohľadnosťou voláme najväčšiu vzdialenosť, na ktorej absolútne čierny predmet, ktorý má uhlové rozmery väčšie ako 20', ešte rozlíšime počas dňa na pozadí oblohy pri horizonte. V noci sa dohľadnosť určuje podľa vzdialenosti po

najvzdialenejší viditeľný bodový zdroj svetla, pričom intenzita svetla je známa.“ (Bednář, 1993) (Nedelka, 1979) (Zverev, 1986)

Vizuálne určovanie dohľadnosti využíva skutočné objekty, ktoré nie vždy odpovedajú daným požiadavkám (napr.: predmet je svetlejší). Meteorologická dohľadnosť je preto zvyčajne väčšia ako vizuálna. Dohľadnosť skutočných predmetov závisí od podmienok pozorovania. Pri rovnakej priehľadnosti vzduchu môžeme sledovať rôzne dohľadnosti pri čistej oblohe a šedých mrakoch, pri trávnej ploche a zasneženej ploche a podobne. Pri súmraku vzniká najväčšia neurčitnosť, keď pri rýchlej zmene svetla sa rozplývajú obrisy objektov. Vizuálne sledovania dohľadnosti sú veľmi nepresné a nie vždy sú porovnateľné.

„Pozorovania dohľadnosti pomocou prístrojov, ktoré určujú priehľadnosť prízemnej vrstvy vzduchu (napr. registrátor priehľadnosti), dávajú rovnorodejšie a porovnateľné výsledky, i keď nie vždy uspokojujú požiadavky praxe, najmä letectva, pre ktoré je dôležitá nielen horizontálna dohľadnosť, (pri štarte lietadla), ale aj šikmá dohľadnosť (pri pristávaní lietadla).“ (Zverev, 1986)

Ak chceme predpovedať dohľadnosť, musíme do úvahy brať vlastnosti vzduchovej hmoty, jej vlhkosť a aj jej prípadné prímеси. Prímеси, ktoré zhoršujú dohľadnosť, môžu byť kvapky vody, kryštáliky ľadu, častice prachu a zrážky. Pri zníženej dohľadnosti musíme rozlišovať medzi zákalom a hmlou.

Zákal je šedý alebo belavý závoj, ktorý zhoršuje dohľadnosť pod 10 kilometrov, pričom relatívna vlhkosť je menšia ako 50%. Prachová alebo piesková víchrica je samostatným druhom veľmi silného zákalu. (Bednář, 1993) Hmla pozostáva z veľmi malých vodných kvapiek, prípadne drobných ľadových kryštálikov rozptýlených vo vzduchu. Tie zmenšujú vodorovnú dohľadnosť pri zemi, hoci len v jednom smere, pod 1 km. Relatívna vlhkosť býva veľmi vysoká, často až 100%. (Bednář, 1993)

Voľným okom nevieme vždy rozoznať suché zakalenie, spôsobené časticami prachu, od vlhkého zakalenia, ktoré spôsobujú kvapky vody a ľadové kryštáliky.

Dohľadnosť znižujú aj zrážky. Tu však dohľadnosť závisí od ich intenzity a veľkosti kvapiek, prípadne ľadových kryštálikov či snehových vločiek. V neposlednom rade je dohľadnosť závislá aj od rýchlosti vetra na pozorovacom mieste. Dohľadnosť pri daždi s veľkými kvapkami môže byť aj 4 kilometre, zatiaľ čo pri mrholení to môže byť aj menej ako 1 kilometer. Dohľadnosť počas sneženia je celkovo horšia ako pri daždi s rovnakou intenzitou.

Dohľadnosť na letisku môžeme nájsť v správach METAR, ktoré sú dôležité pre pilotov pri zisťovaní stavu počasia na letiskách pri predletovej príprave.

2. Vzduchové hmoty.

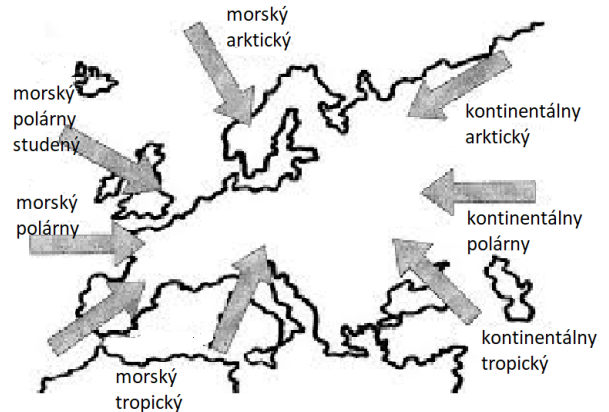
Vzduchové hmoty sú relatívne rovnomerné časti atmosféry, definované ich teplotou a obsahom vodnej pary. Vo vertikálnom smere pokrývajú desiatky a v horizontálnom smere až tisíce kilometrov a prispôbujú sa podmienkam zemského povrchu pod nimi. Občas sa vzduchové hmoty rozliehajú od povrchu zeme po tropopauzu, niekedy sa zas nasávajú alebo podsúvajú jedna pod druhú, pričom teplejšie hmoty sa nachádzajú nad chladnejšími.

Vzduchové hmoty vznikajú v takzvanom ohnisku, kde prijímajú charakteristické vlastnosti geografických podmienok. Pri ich presúvaní v atmosfére v smere všeobecnej cirkulácie atmosféry sa menia ich pôvodné vlastnosti. Tento proces nazývame transformáciou vzduchových hmôt a má veľký význam z hľadiska zmien počasia. Na spoločnom rozhraní vzduchových hmôt sa potom vytvárajú atmosférické fronty. (Zverev, 1986).

Existujú dva druhy klasifikácie vzduchových hmôt a to termická a geografická klasifikácia.

Územie Slovenska je ovplyvňované viacerými vzduchovými hmotami, ktorých prúdenie k nám prináša aj charakteristické prejavy počasia. Vzduchové hmoty môžu byť formované nad morami, či oceánmi a vtedy ide o morské vzduchové hmoty. Ak vznikajú nad pevninou, hovoríme o kontinentálnych vzduchových hmotách. Každá zo vzduchových hmôt má svoj charakteristický obsah vodnej pary, obsah prímiesí, teplotu vzduchu a prináša charakteristické počasie pre tú ktorú vzduchovú hmotu.

Na obrázku č.1. je vidieť smery, z ktorých sa do strednej Európy a teda aj k nám dostávajú jednotlivé vzduchové hmoty.



Obrázok 1: Smery pohybov vzduchových hmôt. Zdroj: <https://sites.google.com/site/paraglidingskola/meteorologie/vzduchove-hmoty>

2.1. Termodynamická klasifikácia vzduchových hmôt zdroj

V termodynamickej klasifikácii rozlišujeme tri typy vzduchových hmôt:

1. Teplé vzduchové hmoty- stabilné a nestabilné
2. Studené vzduchové hmoty- stabilné a nestabilné
3. Miestne vzduchové hmoty- stabilné a nestabilné

2.1.1. Teplá vzduchová hmota

„Teplou nazývame takú vzduchovú hmotu, ktorá sa v danej oblasti postupne ochladzuje, pretože jej teplota je vyššia než rovnovážna teplota, t. j. neodpovedá podmienkam tepelnej a radiačnej rovnováhy.“ (Zverev, 1986)

Teplá stabilná vzduchová hmota sa nad pevninami vyskytuje v chladnej polovici roka. Je to vzduchová hmota, ktorá sa presúva nad pevninu po dlhom období strávenom nad relatívne teplým oceánom (morský tropický vzduch - mTV a kontinentálny polárny vzduch - kPV). Charakteristickými znakmi tejto hmoty sú oblaky typu stratus alebo stratocumulus, z ktorých niekedy padajú zrážky. Denný chod meteorologických prvkov je nevýrazný, občas môžeme kvôli značnej advekcii pozorovať v noci oteplenie (Nedelka, 1979)(Zverev, 1986).

Teplú nestabilnú vzduchovú hmotu môžeme nad pevninami pozorovať hlavne v letnom období (mTV a kontinentálny tropický vzduch - kTV), v blízkosti pobrežia aj v zime (morský polárny vzduch - mPV). Nad oceánmi sa táto hmota vyskytuje v chladnej polovici roka, keď sa relatívne teplý vzduch (mPV) premiestňuje nad vodnú hladinu, ktorá má ešte vyššiu teplotu. Charakteristickými znakmi sú oblaky typu cumulus a cumulonimbus, dažď, časté búrky a radiačné hmly. Denný chod meteorologických prvkov je výraznejší ako v stabilnej hmote, avšak nie veľmi veľký (Nedelka, 1979)(Zverev, 1986).

2.1.2. Studená vzduchová hmota

Studená vzduchová hmota je taká, ktorá sa postupne ohrieva v oblasti, v ktorej sa vyskytuje (Zverev, 1986).

Stabilné studené vzduchové hmoty (kPV a kontinentálny arktický vzduch -kAV) sa nad pevninami nachádzajú hlavne v zime. V oblastiach Arktídy a Antarktídy môžeme tieto hmoty pozorovať aj v lete. Nad morami a oceánmi sa zvyčajne nevyskytujú. Charakteristické počasie v tejto hmote je bezoblačné, studené a môžeme pozorovať radiálne hmly. Oproti teplej stabilnej hmote je chod denných meteorologických prvkov podstatne väčší, avšak stále menší ako v nestabilných hmotách.

Nestabilná studená vzduchová hmota sa nad pevninami vyskytuje najmä v teplej polovici roka, pri vpáde mPV a morského arktického vzduchu - mAV(Nedelka, 1979)(Zverev, 1986).

Charakteristickými znakmi počasia sú oblaky typu cumulus a cumulonimbus a prehánky či búrky. Denný chod meteorologických prvkov je veľmi výrazný, napríklad teplotný rozdiel medzi dňom a nocou môže byť až 10 – 15°C(Nedelka, 1979)(Zverev, 1986).

2.1.3. Miestnavzduchováhmota

Miestne vzduchové hmoty sú také, ktoré si v danej oblasti zachovávajú ich vlastnosti bez výrazných zmien(Zverev, 1986).

Miestna vzduchová hmota, vytvorená z teplej hmoty ochladzovaním, získava vlastnosti stabilnej vzduchovej hmoty. Miestna hmota, vytvorená zo studenej jej prehrievaním, je zvyčajne nestabilnou hmotou. Nad pevninou sú miestne vzduchové hmoty v lete obvyčajne nestabilné a v zime stabilné. Nad oceánmi sú tieto hmoty v lete stabilné a v zime nestabilné(Nedelka, 1979),(Zverev, 1986).

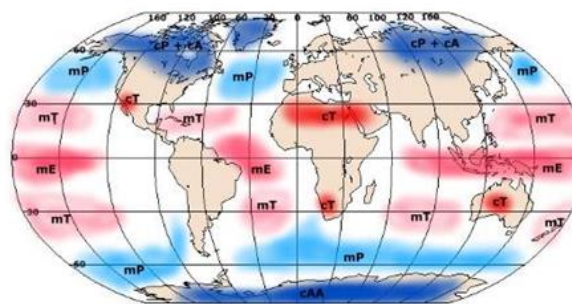
2.2. Geografickáklasifikácia

„Geografická klasifikácia vzduchových hmôt, navrhnutá ešte v dvadsiatych rokoch Bergeronom, je založená na geografickej polohe ohnisk formovania sa vzduchových hmôt. Pre veľa oblastí zemegule, najmä pre oceány, táto klasifikácia nestratila svoj význam ani v súčasnosti.“(Zverev, 1986).

Podľa tejto klasifikácie delíme vzduchové hmoty na štyri typy (Obr.2):

1. Arktický alebo antarktický vzduch (AV)
2. Vzduch miernych zemepisných šírok, známy tiež ako polárny vzduch (PV)
3. Tropický vzduch (TV)
4. Ekvatoriálny vzduch (EV)

Každá uvedená vzduchová hmota, okrem ekvatoriálneho vzduchu, sa rozdeľuje na základe vlastností povrchu podkladu ohniska jej formovania na morskú a kontinentálnu(Nedelka, 1979),(Zverev, 1986).



Obrázok 2: Geografická klasifikácia vzduchových hmôt s ohniskami ich vzniku. Zdroj: https://www.earthonlinemedia.com/ebooks/tpe_3e/weather_systems/air_masses_types.html

Vzduchové hmoty vo veľkej miere ovplyvňujú aj dohľadnosť. Napríklad horizontálna dohľadnosť v arktickom vzduchu je 20 až 50 kilometrov, zatiaľ čo tropický vzduch so sebou často prináša dymno a hmly (Nedelka, 1979).

Tabuľka 1: Charakteristiky rôznych geografických typov vzduchových hmôt v centrálnych oblastiach európskeho územia

Charakteristika	Vzduchová hmota					
	kAV	mAV	kPV	mPV	kTV	mTV
Vertikálny rozsah (km)	1-3	2-5	Obvyčajne po tropopauze			
Priemerná teplota v prízemnej vrstve (°C)						
Január	-20	-10	-8	-1	Necharakteristický	+3
Júl	+8	+10	+0	+15	+25	Necharakteristický
Horizontálna dohľadnosť (km)	20-50	50	4-10	10-20	2-6	2-6

3. Metodika a spracovanie

Na základe informácií poskytnutých Slovenským hydrometeorologickým ústavom, bola analyzovaná dohľadnosť v jednotlivých vzduchových hmotách na letiskách Bratislava (LZIB) a Košice (LZKZ) v rokoch 2016 až 2018.

Analyzované boli správy METAR, poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom, ktorých bolo viac ako 100 000. Do analýzy boli zahrnuté len dni, keď dohľadnosť bola ovplyvňovaná určitou vzduchovou hmotou a boli analyzované len v tých časových intervaloch, keď vzduchové hmoty vpadli na naše územie. Nebudú teda analyzované tie dni, keď bola vzduchová hmota transformovaná, to znamená, že už prebrala vlastnosti podkladu, kam sa vzduch dostal. Pri hodnotení kvality vzduchových hmôt bolo vychádzané z publikácie „Bulletin Meteorológia a Klimatológia“, ktorý každý mesiac uverejňuje Slovenský hydrometeorologický ústav.

Jednotlivé vpády vzduchových hmôt sú rozdelené podľa geografickej klasifikácie do grafov za celé sledované obdobie a sú analyzované dohľadnosti v nich.

3.1. Letiská

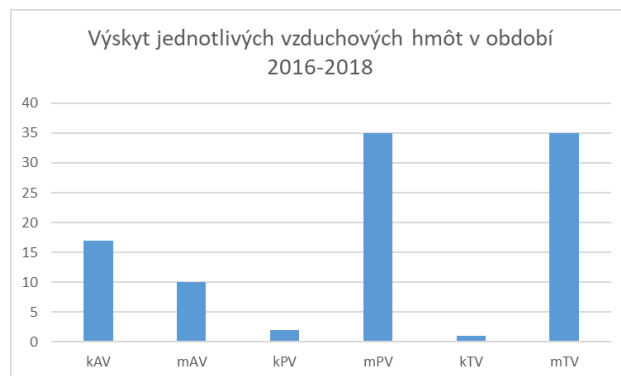
Pre toto spracovanie boli vybrané dve slovenské letiská: Bratislava a Košice.

Dôvodom výberu práve týchto dvoch letísk bol fakt, že sú to z hľadiska prevádzky najväčšie slovenské letiská a tiež to, že sú od seba dostatočne vzdialené na možné pozorovanie vpádu a následného prúdenia vzduchových hmôt.

Letisko Bratislava sa nachádza v nadmorskej výške 133 m. Je to najväčšie slovenské letisko na krajnom západe. (Kazda, Caves, 2015).

Letisko Košice je druhým najväčším letiskom Slovenska, nachádza sa v nadmorskej výške 230 m na východe krajiny. (Kazda, Caves, 2015).

3.1.1. Výsledky



Graf 1: Výskyt jednotlivých vzduchových hmôt v sledovanom období. Zdroj: Autori.

Zistili sme, že najčastejšie ovplyvňovali počasie na našom území morský polárny vzduch a morský tropický vzduch. Ich hodnoty sú na rovnakej úrovni, 35-krát za 3 roky. Je pravdepodobné, že sa morský tropický vzduch v zimných mesiacoch transformoval pri svojom postupe do našej oblasti na morský polárny vzduch. Na základe tohto môžeme tvrdiť, že najviac počasie na našom území ovplyvňuje práve mPV. Naopak vzduchové hmoty, ktoré v danom období ovplyvňovali dohľadnosť na našom území najmenej, boli kontinentálny polárny vzduch a kontinentálny tropický vzduch.

Morský polárny vzduch (mPV) podľa analýz správ METAR bol najčastejšie pozorovanou vzduchovou hmotou na našom území spolu s morským tropickým vzduchom (mTV).

Zhodnotíme si najskôr dohľadnosť chladnejšej vzduchovej hmoty, teda morského polárneho vzduchu.

Hodnoty dohľadnosti v mPV sa pohybovali v priemere medzi 4 až 6 km. Zníženú dohľadnosť spôsobovali najmä hmla, dymná a zrážky v ňom sa vyskytujúce. V jarných mesiacoch v tejto vzduchovej hmote bola takmer každý deň dohľadnosť väčšia ako 10 km. V letnom období sa morský polárny vzduch nevyskytoval vôbec. Na začiatku jesene v morskom polárnom vzduchu bola dohľadnosť na obidvoch letiskách takmer vždy

väčšia ako 10 km. Pri vpáde mPV v pokročilej jeseni bola dohľadnosť na letisku LZIB spočiatku v priemere okolo 6 km, čo bolo spôsobené vyššou vlhkosťou, následne sa vylepšila na dohľadnosť väčšiu ako 10 km. Na letisku LZKZ bola dohľadnosť proti Bratislave horšia a v priemere dosahovala hodnoty okolo 5 km a zlepšovala sa až postupne v neskorších hodinách. V novembri pri prvom vpáde mPV bola dohľadnosť 2-3 km, pri druhom vpáde boli dohľadnosti na obidvoch letiskách viac ako 10 km. V decembri na letisku LZIB pri vpáde mPV dohľadnosť rapídne klesla behom hodiny z 10 km na 700 m a následne sa zlepšovala a udržiavala sa na hodnotách 5 až 7 km. Na letisku LZKZ pri vpáde mPV bola dohľadnosť prvý deň väčšia ako 10 km a následne sa znížila a udržiavala sa na hodnote 2 km.

Morský tropický vzduch sa za sledované obdobie u nás tiež vyskytoval 35x, najmenej to bolo v roku 2016, iba 3x, ale v roku 2017 to bolo až 15 x. Táto vzduchová hmota sa v zimnom období vyskytuje vo svojej originálnej forme iba zriedkavo, napr. v r 2016 sa vyskytol vo februári, v ďalších rokoch sa dal identifikovať až v jarných mesiacoch, najčastejšie hneď v marci. Veľmi často môžeme pozorovať transformáciu mTV na mPV, ktorý výraznejším spôsobom ovplyvňuje dohľadnosť na spomínaných letiskách najmä hmlami, dymom a prehánkami, ktoré znižujú krátkodobú dohľadnosť.

Na letisku LZIB a LZKZ spôsobil mTV dohľadnosť väčšiu ako 10 km a podľa správ METAR môžeme usúdiť, že tento vzduch prúdil zo západu na východ, keďže v Košiciach sa dohľadnosť vylepšila až po pár hodinách. V jarných mesiacoch pri vpáde mTV bola pozorovaná dohľadnosť 10 km a viac na obidvoch letiskách. V letnom období mTV spôsobil v Bratislave pri všetkých vpádoch dohľadnosť viac ako 10 km a veľmi podobne to bolo aj v Košiciach až na pár krátkodobých zmien, kedy dohľadnosť klesla pod 4 km kvôli búrkam s dažďom. V jesenných mesiacoch mTV na obidvoch letiskách znižuje dohľadnosť najmä v noci a v skorych ranných hodinách, keď dohľadnosť klesala aj pod 500 metrov. Takúto nízku dohľadnosť spôsobovali predovšetkým prízemné hmla. Následne sa dohľadnosť počas dňa vylepšovala a dosahovala hodnoty 8 až 10 km. V Košiciach veľmi často ovplyvňovalo dohľadnosť v tejto vzduchovej hmote dymno.

Ďalšou vzduchovou hmotou na našom území bol s počtom vpádov 14 kontinentálny arktický vzduch (kAV). Táto vzduchová hmota je studená a suchá, s malým obsahom vodnej pary a najčastejšie sa u nás vyskytuje v zimnom polroku, pričom môže priniesť pri svojom vpáde aj slabé sneženie. Tento jav znižuje dohľadnosť na letiskách, ale po ukončení zrážok veľmi rýchlo dohľadnosť dosiahne hodnotu 9999, teda je nad 10 km. V tejto vzduchovej hmote sa na oboch letiskách vyskytovali dohľadnosti nad 10 km s výnimkou epizód so snežením, ktorý počas doby trvania javy krátkodobu znižoval dohľadnosť až do intervalu 2-4 km. Výraznejšie bolo pozorované znižovanie dohľadnosti na letisku v Košiciach.

Morský arktický vzduch sa za sledované obdobie u nás vyskytol 10x. Je to studený vzduch, ale s ohľadom na ohnisko jeho vzniku má v sebe vlhkosť, ktorá sa pri svojom postupe k nám demonštruje tvorbou oblačnosti a častými prehánkami, ktoré sa súčasne s ochladzovaním menia na zmiešané alebo aj snehové postupne aj v nižších polohách. Zrážky pri postupe vzduchovej hmoty k nám spôsobujú dočasné znižovanie dohľadnosti, pri intenzívnych zrážkach až pod 1 km, ale po

ukončení zrážok dohľadnosť veľmi rýchlo dosiahla viac ako 10 km.

Kontinentálny polárny vzduch sa na našom území nevyskytuje často. Ak sa na našom území zachytí jeho výskyt, dohľadnosť v ňom je vysoká, nad 10 km, ale pri zrážkach dohľadnosť v ňom klesá v závislosti od intenzity zrážok.

Výskyt kontinentálneho tropického vzduchu na našom území je, mohli by sme povedať, až raritná. Za celé sledované obdobie to bolo iba raz, ale jeho vplyv na dohľadnosť na sledovaných letiskách sa neprejavila, dohľadnosť aj v Bratislave aj v Košiciach bola 6-8 km.

4. Záver

Vzduchové hmoty k nám prenikajúce si podľa ohniska svojho vzniku prinášajú so sebou určité vlastnosti, ktoré ovplyvňujú dohľadnosť na našom území. Ide najmä o množstvo vodnej pary, ktoré tá či oná vzduchová hmota obsahuje. Táto vodná para sa na našom území potom prejavuje napr. aj tvorbou dymna, hmly, zrážok, ktoré môžu mať rôznu intenzitu.

Pretože vzduchové hmoty majú rôzne smery postupu k nám, dá sa zistiť ich prítomnosť na našom území aj spomínanou zmenou dohľadnosti. Letiská Bratislava a Košice ležia každé na inom konci Slovenska. Mohli by sme teda povedať, že prúdenie kAV sa najskôr prejaví na letisku v Košiciach a mAV sa zase najskôr bude dať spozorovať na letisku v Bratislave. Táto úvaha by mohla mať v sebe určité racionálne východisko, ak by ale naša krajina nebola tak orograficky členitá a do prúdenia jednotlivých vzduchových hmôt k nám by tak aj nezasahovali jednotlivé pohoria. Na potvrdenie tejto úvahy by bolo potrebné vykonať ďalšie skúmanie.

Čo sa nám teda podarilo zistiť? Zistili sme, že najlepšie dohľadnosti sa na našom území vyskytujú v arktických vzduchových hmotách v zimnom polroku, keď je vo vzduchu minimum vlhkosti. To je v súlade s teoretickými predpokladmi. Zistili sme, že sa na našom území pozorovali aj vpády morského tropického vzduchu, ktorý má v sebe vlhkosť, ktorá znižuje dohľadnosť hmlami, dymnom, pričom sa tieto javy vyskytujú najmä v chladnejšej ročnej dobe v noci a nad ránom. V teplom polroku sa hmly rýchlo rozplývajú, ale počas dňa nastáva tvorba prehánok a búrok, ktoré môžu prechodne znižovať dohľadnosť v tejto vzduchovej hmote. Či je počet výskytu morského tropického vzduchu u nás vyšší ako tomu bolo v minulosti, by tiež muselo byť preskúmané.

Na základe analýzy vzduchových hmôt a dohľadnosti v nich nemôžeme jednoznačne povedať, že na identifikáciu vzduchovej hmoty stačí poznať iba dohľadnosť v nej. Na dohľadnosť na našom území majú vplyv aj iné činitele. Ide napr. o polohu letiska v oblasti, kde je napr. vyšší výskyt znečistenia v ovzduší. Obe sledované letiská ležiace v industriálnych častiach krajiny môžu mať zníženú dohľadnosť aj pod vplyvom výskytu priemyselného znečistenia v ich okolí.

Referencie

Bednář, J a kol : Meteorologický slovník výkladový terminologický, ACADEMIA 1993

Galierikova, A., Materna, M., Sosedova, J. 2018. Analysis of risks in aviation. Transport Means - Proceedings of the International Conference. 2018-October, pp. 1427-1431

Kazda, A., Caves, R.: Airport design and operation - 3rd ed. - Bingley : Emerald Group Publishing Limited, 2015. - xxv, 569 s. ISBN 978-1-78441-870-0

Nedelka, M: Letecká meteorológia II. 1.vyd. Bratislava : Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, ALFA, 1979. 326 s. ISBN 63-751-79

Zverev, A.S. Synoptická meteorológia, Bratislava: Alfa-vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1986.

SHMÚ, „Bulletin Meteorológia a Klimatológia,“ [Online]. Available: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1613&id=>. [Cit. 2019]

NÁVRH METODIKY VÝCVIKU A UDRŽATEĽNOSTI SCHOPNOSTÍ PILOTÁŽE BEZPILOTNÝCH LIETAJÚCICH PROSTRIEDKOV

DRAFT OF THE TRAINING METHODOLOGY AND SUSTAINABILITY OF UAV PILOTAGE CAPABILITIES

Viliam Ažaltovič

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

Iveta Škvareková

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

Branislav Kandra

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

Abstract

While the density of UAVs operations grow in the airspace the demands on their safe operation are increasing. Nowadays, the risk of an unmanned aerial vehicle colliding with an aircraft with another unmanned aerial vehicle or object is high as ever before. It is this ever-increasing danger that is the reason for training remote pilots, who will be able to safely control unmanned aerial vehicles. The goal of this article is to propose a pilot training methodology for the multicopter configuration of UAV. In the future, the proposed methodology may contribute to the development of rules for the training of remote pilots. The proposed methodology can be used in the future as a guide for the safe operation of unmanned aerial vehicles for the general public

Keywords

Training, UAV, piloting skills

1. Úvod

Využívanie bezpilotných lietajúcich prostriedkov v posledných rokoch zažíva veľký rozmach a rok čo rok sa využívajú v čoraz viac odvetviach. Používaním týchto prostriedkov hustne aj prevádzka vo vzdušnom priestore takže je potrebné, aby piloti bezpilotných lietajúcich prostriedkov poznali pravidlá a boli správne vycvičení na pilotáž týchto prostriedkov.

Podobne komplexne vypracovaná metodika zatiaľ na Slovensku, ani v zahraničí neexistuje. Navrhovaná metodika nemá slúžiť len pre odbornú výučbu pilotov na diaľku trénovaných na letecké práce s UAV, ale aj širokú verejnosť, ktorej popisované cvičenia môžu pomôcť so získaním správnych vedomostí a zručností na bezpečnú prevádzku UAV.

Žilinská Univerzita v Žiline poskytuje možnosť výcviku pilotov na bezpilotné lietajúce prostriedky a počas samotného výcviku na to používa UAV Mavic 2 Pro (obrázok 1) od čínskeho výrobcu DJI.

Pri návrhu metodickéj príručky je potrebné myslieť na to, že nie všetky bezpilotné lietajúce prostriedky majú rovnakú letovú konfiguráciu a teda ani spôsob ovládania.

V dnešnej dobe sú známe 2 letové konfigurácie bezpilotných lietajúcich prostriedkov.

- Koptérová konfigurácia - Bepilotný lietajúci prostriedok s pohyblivými nosnými plochami.
- Konfigurácia s pevným krídlom - Bepilotný lietajúci prostriedok s fixnými nosnými plochami.

Prevádzka bezpilotných lietajúcich prostriedkov týchto dvoch konfigurácií je značne rozdielna, preto sa aj v samotnom výcviku dáva dôraz na rozdielne cvičenia počas výcviku.

Príručka je vypracovaná chronologicky, teda na základe časovej postupnosti počas výcviku.



Obrázok 1 : Bepilotný lietajúci prostriedok DJI Mavic 2 Pro. Zdroj: <http://blog.aeromodel.sk/wp-content/uploads/2018/08/DJI-Mavic-2-8.jpg>

Základom výcviku na bezpilotných lietajúcich prostriedkoch je simulátor. Výcvik na simulátore je možné absolvovať dvomi rôznymi spôsobmi, a to:

- Komplexný výcvik – zameraný na získanie a osvojenie si všetkých potrebných zručností na riadenie bezpilotných leteckých prostriedkov.

- Zrýchlený výcvik – pokiaľ má pilot predchádzajúce skúsenosti s riadením dronov, je možné absolvovať tento typ výcviku.



Obrázok 2: Príklad bezpilotného lietajúceho prostriedku s pevným krídlom. Zdroj: www.shorturl.at/isKM2.

2. Simulátor

Dôležitou súčasťou výcviku je absolvovanie výcviku na simulátore. Každý typ konfigurácie si vyžaduje iný typ výcviku. Keďže je návrh tejto metodiky určený pre koptérovú konfiguráciu, bol pre ňu prispôbený aj samotný simulátor.

Pre tento prípad bol vybraný simulátor, ktorého základ je headset virtuálnej reality aby bola zabezpečená simulácia v čo najvyššej možnej miere.

2.1. Komplexný výcvik

Aj v prípade výcviku na koptérovú konfiguráciu a rovnako aj v prípade výcviku na konfiguráciu s pevným krídlom v rámci komplexného výcviku je potrebné absolvovať výcvik na simulátore v trvaní 3 hodín, pričom každá hodina obsahuje špecifické manévry, ktoré je potrebné trénovať, a to:

- 1. Hodina – Počas prvej hodiny sa trénujú najdôležitejšie manévry pre bezpečnú prevádzku bezpilotných lietajúcich prostriedkov koptérovej konfigurácie:
 - Vzlet
 - Vísanie vo vzduchu nad bodom
 - Pristátie
- 2. Počas druhej hodiny na simulátore bude pilot trénovať cvičenia, ktoré mu dodajú schopnosť orientovať sa v priestore. Dôležitým prvkom je let proti sebe, keďže počas neho je smerové ovládanie UAV opačné, a teda je potrebné aby si pilot zvykol aj na takéto riadenie.
 - Let proti sebe
 - Kružnica
 - Štvorec

Tieto cvičenia prispievajú k nadobudnutiu potrebných manuálnych letových zručností, aby pilot následne zvládol aj náročnejšie letové trajektórie.

- Počas poslednej – tretej hodiny na simulátore bude skúsenejším pilotom zadaná letová trasa a zvolené geometrické útvary, ktoré musí pilot vo výcviku zvládnuť. Cvičenie pozostáva z kompletného letu, teda vrátane úspešného vzletu a pristátia.

Pilot musí zvládnuť záverečnú skúšku, aby mohol pokračovať vo výcviku so skutočným bezpilotným prostriedkom.

2.2. Zrýchlený výcvik na simulátore

Pokiaľ pilot vo výcviku má už predchádzajúce skúsenosti s pilotovaním bezpilotného lietajúceho prostriedku, je možné absolvovať zrýchlený výcvik v trvaní jednej hodiny. V rámci zrýchleného výcviku bude otestovaný skúsenejším pilotom, či zvláda základné manévry a je oboznámený aj s orientáciou pilotovania bezpilotného lietajúceho prostriedku v priestore. Počas tohto cvičenia bude pilotovi vo výcviku zadaná letová trasa, ktorú musí odletieť. To, či je pilot vo výcviku schopný pilotáže v dostatočnej miere, je na rozhodnutí skúsenejšieho pilota a jeho subjektívnom názore.

Len v prípade pozitívneho výsledku je možné zrýchlený výcvik akceptovať a pilot môže pokračovať vo výcviku so skutočným bezpilotným lietajúcim prostriedkom. Pilot pritom musí preukázať základné znalosti pilotovania bezpilotného prostriedku v priestore. Podmienky zrýchleného výcviku platia ako pre konfiguráciu s pevným krídlom, tak aj pre koptérovú konfiguráciu.

Pokiaľ bol pilot vo výcviku počas tréningu na simulátore úspešný, pokračuje následne vo výcviku so skutočným bezpilotným lietajúcim prostriedkom. Počas tohto tréningu absolvuje pilot vo výcviku s asistenciou skúsenejšieho pilota niekoľko letov prostredníctvom kanála „žiak – pilot“, a s jeho asistenciou bude trénovať cvičenia zo simulátora.

3. Predletová príprava

Ako takmer posledný krok k úspešnému a bezpečnému vykonaniu letu je dôsledná predletová príprava. Počas nej má pilot poslednú možnosť si otestovať všetky potrebné systémy a zistiť tak prípadné chyby v nastavení UAV.

Predletovú prípravu bezpilotného lietajúceho prostriedku koptérovej konfigurácie sa vykoná podľa nasledujúcich krokov:

- Kontrola stavu batérií
- Vizualná a mechanická kontrola nosných a funkčných častí
- Uistenie sa, že v blízkosti nie sú žiadne nebezpečné prekážky, ktoré by mohli narušiť hladký priebeh letu
- Zapísanie potrebných údajov do logbooku bezpilotného lietajúceho prostriedku
- Zapnutie vysielča a pripojenie batérie
- Kontrola správneho pohybu ovládacích plôch pohybom páčok na vysielči
- Kontrola ťahu motora pridaním plynu na úroveň, kedy bezpilotný lietajúci prostriedok ešte nevzlieta

4. Praktický výcvik

Pokiaľ pilot vo výcviku prešiel všetkými požadovanými podmienkami, môže byť následne pripustený k praktickému výcviku. Rovnako ako to bolo počas výcviku na simulátore aj praktická časť výcviku na koptérovej konfigurácii je odlišná od praktickej časti na konfigurácii s pevným krídlom.

Množstvo bezpilotných lietajúcich prostriedkov od rôznych výrobcov má vlastné letové módy s rôznymi stupňami stabilizácie, ktoré môžu byť využívané počas výcviku. Ako príklad je možné uviesť výrobcu DJI, ktorý poskytuje 3 letové módy. Využívanie týchto módov je prospešné nielen počas výcviku, ale aj v priebehu samotných misií, avšak treba počítať s istými obmedzeniami najmä čo sa týka rýchlosti letu. Pokiaľ je niektorý z módov dostupný na cvičnom bezpilotnom prostriedku, odporúča sa ho použiť.

Ako už bolo spomenuté, Žilinská Univerzita v Žiline využíva pre účely výcviku UAV DJI Mavic 2 Pro. Tento bezpilotný lietajúci prostriedok disponuje niekoľkými módmi, v ktorých je možné let vykonať.

4.1. Jednotlivé módy

4.1.1. Positioning (P-Mode)

Režim P funguje najlepšie, keď je signál GPS silný. Dron využíva GPS a systémy Vision na lokalizáciu, stabilizáciu a navigáciu medzi prekážkami. V tomto režime sú povolené inteligentné letové režimy.

Ak sú aktivované systémy vpred a vzad a sú dostatočné svetelné podmienky, maximálny uhol letovej výšky je 25°, maximálna rýchlosť letu vpred je 50 km/h a maximálna rýchlosť v smere dozadu je 43 km/h.

Dron sa automaticky prepne do režimu Attitude (ATTI), keď sú systémy Vision nedostupné alebo deaktivované, keď je signál GPS slabý alebo keď kompas zaznamená rušenie. Ak nie sú dostupné systémy Vision, lietadlo sa nemôže samo umiestniť alebo samočinne zabrzdíť, čím sa zvyšuje riziko potenciálneho nebezpečenstva letu.

4.1.2. Sport (S-Mode)

V Móde S sú systémy Vision vypnuté a dron používa GPS iba na určovanie polohy. Maximálna rýchlosť letu je 72 km/h.

Inteligentné letové režimy nie sú k dispozícii a lietadlo nedokáže zistiť prekážky alebo sa im vyhnúť.

4.1.3. Tripod (T-Mode)

T-Mode je založený na móde P. Rýchlosť letu je obmedzená, čo zvyšuje stabilitu lietadla počas natačania. Maximálna rýchlosť letu, maximálna rýchlosť stúpania a maximálna rýchlosť zostupu je 1 m/s. Inteligentné letové režimy v režime T nie sú dostupné.

Praktický výcvik začína s využitím P-módu a pilot vo výcviku trénuje pod dozorom skúseného pilota cvičenia zo simulátora.

Trvanie praktického výcviku je stanovené na 8 hodín, pričom môže byť individuálne predĺžené podľa potreby pilota vo výcviku a podľa požiadaviek skúseného pilota. Praktický výcvik bude rozdelený a lietaný na 2 módy. Prvých 6 hodín prebieha v móde P, pričom posledné 2 hodiny výcviku v tomto móde obsahujú špeciálne cvičenia popísané ďalej v tomto dokumente. Posledné 2 hodiny prebiehajú v móde S.

4.1.4. Výcvik v P-Móde

Počas prvých 4 hodín pilot vo výcviku trénuje cvičenia zo simulátora, keďže patria k tomu najdôležitejšiemu, čo potrebuje pilot ovládať. Intenzita tréningu a jednotlivých cvičení je individuálne upravená podľa požiadaviek skúseného pilota.

Posledné dve hodiny sú venované špeciálnym tréningom, ktoré prispejú k zvýšeniu zručností priamo v teréne.

5. Hodina tréningu je venovaná sledovaciemu cvičeniu. Skúsený pilot zvolí najprv statický a následne pomaly-pohyblivý cieľ, ktorý bude následne pilot vo výcviku sledovať. Pilot sleduje ciele dronom z diaľky stanovenej skúseným pilotom. Vzdialenosť sa určuje na základe veľkosti sledovaného cieľa.

6. Hodina tréningu prebieha za znížených podmienok viditeľnosti. Počas nočného letu je uskutočnený jeden nenáročný let, ktorý pozostáva len zo základných prvkov, a to:

- a. Vzlet
- b. Vísenie na mieste nad bodom
- c. Let proti sebe
- d. Pristátie

Výcvik v S-Móde

Počas posledných dvoch hodín výcviku na koptérovej konfigurácii sa lieta v športovom móde.

1. Hodina – Pilot vo výcviku si opäť zopakuje základné prvky zo simulátora aby si osvojil novú citlivosť riadenia dronu.

2. Hodina – Skúsený pilot zadá pilotovi vo výcviku opäť statický a pomaly-pohyblivý cieľ, ktorý pilot zo vzdialenosti určenej skúseným pilotom sleduje.

Tieto cvičenia v S-Móde slúžia na zopakovanie si všetkých naučených manévrov počas výcviku so zvýšenou citlivosťou a vyššou náročnosťou riadenia.

5. Záver

Navrhovaná metodika výcviku a udržateľnosti schopností pilotáže bezpilotných lietajúcich prostriedkov poskytuje nadobudnutie základných zručností pilotáže UAV. Využitie inteligentného letového simulátora, ktorý dokáže s využitím virtuálnej reality vierohodne nasimulovať určitú situáciu, v ktorej je pilot vo výcviku trénovaný, môže mať pozitívny vplyv na účinnosť výcviku.

Navrhovaná metodika môže poslúžiť ako odrazový mostík pre vytvorenie jednotného štandardizovaného postupu pri školení profesionálneho personálu na určitý typ bezpilotného prostriedku. Metodika poskytuje len výcvik na všeobecné

ovládacie schopnosti UAV, keďže nie všetci účastníci, budú využívať bezpilotný lietajúci prostriedok na rovnaké účely prevádzky.

Efektívny výcvik môže pri neustálom raste využívania UAV zohrávať dôležitú úlohu pri zvýšení bezpečnosti. Je nevyhnutné osvojiť si manuálne letové zručnosti aby pilot na diaľku dokázal počas núdzových situáciách lepšie a rýchlejšie reagovať.

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 046ŽU-4/2019** s názvom „*Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota*“.

Referencie

Barcelona, S., Brenna, Analysis, M., (2015). of Ageing Effect on Li-Polymer Batteries Published online in ScientificWorldJournal doi: 10.1155/2015/979321

Fahlstrom, P. G., Gleason, J. T., 2012. Introduction to UAV Systems. ISBN 978-1119978664.

Holoda Š., Kandra B., 2016 Problematika a vývoj legislatívy bezpilotných prostriedkov - UAV na Slovensku, In: New trends in civil aviation 2016, Žilina: Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-1252-8. - S. 32-35.

K. Kersandt, G. Muñoz and C. Barrado, "Self-training by Reinforcement Learning for Full-autonomous Drones of the Future*," 2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC), London, 2018, pp. 1-10, doi: 10.1109/DASC.2018.8569503.

Novák, A., Jůn F., Škultéty F., Novák-Sedláčková, A., 2019. Measuring possible impact of GNSS interference on instrument approach on RWY 06 LZZI, In: Perner's Contacts [electronic], ISSN 1801-674X (online). s. 59-69

Novak, A., Mrazova, M., 2015. Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 17.3, 103-107.

Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky, Dopravný úrad.

V. T. Nguyen, K. Jung and T. Dang, "DroneVR: A Web Virtual Reality Simulator for Drone Operator," 2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR), San Diego, CA, USA, 2019, pp. 257-2575, doi: 10.1109/AIVR46125.2019.00060.

EFEKTIVITA VÝCVIKU PILOTOV NA DIAĽKU

REMOTE PILOT TRAINING EFFECTIVENESS

Branislav Kandra

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
branislav.kandra@fpedas.uniza.sk

Iveta Škvareková

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
iveta.skvarekova@fpedas.uniza.sk

Viliam Ažaltovič

Katedra leteckej dopravy
Žilinská univerzita v Žiline
Univerzitná 1
010 26 Žilina
viliam.azaltovic@fpedas.uniza.sk

Abstract

Although the topic of unmanned aerial vehicles is very actual, in most cases attention is paid to the safe integration of unmanned aerial vehicles in airspace, their uses and their reliability. But the safe operation of drones is based on the correct and effective training of drone pilots. The paper deals with the training of pilots of unmanned aerial vehicles, defining the scope of training and the possibilities of using UAV simulators for training. An important aspect is the complexity of knowledge about unmanned aerial vehicles, as training is not only a question of control skills, but also of theoretical knowledge of the UAV itself with which the flight is performed. Based on the measured data, it is clear that the simulator plays an important role during the training of piloting unmanned aerial vehicles, while providing a valuable basis for the transition to a type of fixed-wing flight configuration.

Keywords

Remote Pilot, Unmanned Aircraft Vehicle, Training, Safety

1. Úvod

Žilinská univerzita v Žiline zabezpečuje kurzy pilota na diaľku aktívne od roku 2015 prostredníctvom jej zložky - Národného výcvikového centra bezpečnosti v civilnom letectve. Výcvik je rozdelený na dve časti: teoretickú a praktickú. V školskom roku 2017/2018 bol zavedený Katedrou leteckej dopravy predmet Prevádzka bezpilotných lietadiel a následne voliteľný predmet Letový výcvik bezpilotných lietadiel. Teoretický a praktický výcvik vykonávajú skúsení vysokoškolskí učitelia Katedry leteckej dopravy, ktorí dlhodobo venujú pozornosť bezpilotným prostriedkom. Kvalitnému výcviku pilotov na diaľku sa na Žilinskej univerzite v Žiline venuje vysoká pozornosť a na základe výskumu a spätnej väzby od pilotov vo výcviku sa snaha upriamuje na kontinuálne zlepšovanie v tejto oblasti.

2. Certifikácia pilotov na diaľku

V podmienkach Slovenskej republiky je nastavená certifikácia pilotov na diaľku relatívne prísne.

Teoretická skúška sa vykonáva na Dopravnom úrade vo vopred stanovených termínoch a časoch. PC test sa vykonáva v slovenskom jazyku, pozostáva zo 100 otázok a čas pre test je 90 minút. Na otázky sa odpovedá formou viacnásobnej možnosti výberu odpovedí. Pri každej otázke sú na výber uvedené tri odpovede, z ktorých je iba jedna správna.

Žiadateľovi je priznané hodnotenie prospel, ak vo všetkých požadovaných predmetoch získal minimálne 75%. V prípade, ak žiadateľ nie je úspešný z jedného alebo viacerých predmetov, je hodnotený ako neprospel. Z predmetov, z ktorých bol hodnotený ako neprospel, je potrebné opakovať teoretickú skúšku (Holoda Š., Kandra B., 2016).

Okruhy otázok a aj hĺbka vedomostí je takmer totožná s nárokmi kladenými na uchádzačov o skúšky na súkromného pilota:

Letecké právo a postupy riadenia letovej prevádzky, kde sa nachádzajú otázky ohľadom komunikácie, základnej terminológie, základných postupov v letovej prevádzke, práva a povinnosti osoby zodpovednej na prevádzku atď.

Všeobecné vedomosti o lietadle: Základná technická terminológia, Základy aerodynamiky, Základy mechaniky letu.

Letové výkony lietadla a plánovanie letu: Základná terminológia, Postupy plánovania letu, Pohonné jednotky diaľkovo riadeného lietadla.

Meteorológia: Základné meteorologické javy, Atmosféra zeme, Letecká meteorológia.

Prevádzkové postupy: Letecké práce, Bezpečnosť letu, Postupy pre zaistenie bezpečnosti letu, Vykonávanie letov.

Základy letu: Základné fyzikálne zákonitosti letu lietadla, Princípy letu lietadla, Pohonné jednotky.

Praktická skúška sa vykonáva po úspešnom vykonaní teoretickej skúšky, pod dozorom, podľa pokynov a na mieste určenom inšpektorom Dopravného úradu s bezpilotným lietadlom (UA- Unmanned Aircraft) evidovaným na Dopravnom úrade. Za vykonanie letu počas praktickej skúšky zodpovedá žiadateľ.

V rámci praktickej skúšky musí pilot na diaľku preukázať znalosť rozdelenia vzdušného priestoru a jeho možnosti využívania pre lety bezpilotných lietadiel. (Ažaltovič, V., Kandra, B., 2018) Ďalej znalosť meteorologickej situácie a identifikácia

nebezpečných javov pre konkrétne UAS (Unmanned Aircraft System), na ktorom prebieha výcvik. V ďalšom kroku musí pilot preukázať znalosť prevádzkových postupov a obmedzení. Praktická skúška pokračuje vykonaním letovej úlohy podľa požiadaviek inšpektora DÚ. Inšpektor sleduje súslednosť povinných úkonov a dodržanie požadovaného geometrického obrazca. Celá letová úloha môže byť vykonávaná v letovom móde s podporou GPS a podporov optických systémov UA, čo jednoznačne uľahčuje vykonanie skúšky. Tieto systémy udržiavajú presnú polohu UA a pilot na diaľku nemusí vylučovať vplyv vetra. Mnohé UAS ani nemajú možnosť voľby manuálneho módu pilotom, a z tohto dôvodu sme boli nútení upravovať firmware komerčných UAS.

3. Metodika merania

Z popísaného priebehu skúšky vyplýva, že pri letovom výcviku pilota na diaľku nie je potrebný výcvik v manuálnom móde, t.j. bez podpory GPS a optických systémov. Ale z pohľadu bezpečnej prevádzky je veľmi prospešný tento letový výcvik v manuálnom móde, kvôli technickým obmedzeniam týchto systémov:

- - Signál GPS je veľmi často rušený
- - Optický systém sledovania polohy je závislý od svetelných podmienok a optickej štruktúry plochy pod UAV
- - Možnosť poruchy systémov

Z týchto dôvodov sa v našom výcvikovom centre vykonáva väčšia časť praktického letového výcviku v manuálnom móde. Z tohto pohľadu je potrebné určiť pomer letov v manuálnom móde a mieru využitia UAS simulátora.

Základný výcvik pilota na diaľku multikoptéry v našom centre pozostáva z 18 letov pričom každý let trvá približne 20 minút. V prípade potreby môže byť tento počet zvýšený tak, aby bol inštruktor presvedčený o pripravenosti pilota vo výcviku. Z uvedeného vyplýva, že na zvládnutie oficiálnej skúšky by postačoval podstatne menší rozsah výcviku, ale pre plné osvojenie motorických návykov v manuálnom móde je potrebný náročnejší výcvik.

Určenie výcvikových letov:

- 6 letov v P-Mode (Positioning) – vietor v rozmedzí od 0 m/s do 8 m/s
- 12 letov v M-Mode (Manual) – vietor v rozmedzí od 2 m/s do 8 m/s
- 6 letov na simulátore – vietor v rozmedzí od 0 m/s do 8 m/s

V rámci výcviku sme prevádzkali široký výskum v oblasti efektívnej metodiky výcviku pilotov na diaľku multikoptér. Najzaujímavejšie výsledky sa preukázali pri analýze využitia simulátorov UAS pri výcviku pilota multikoptéry.

Celkovo bolo do výskumu zapojených 112 pilotov vo výcviku, pričom výskum bude ďalej pokračovať po zmiernení opatrení súvisiacich so šírením Coronavirusu (COVID-19), kde očakávame s ukončením praktického výcviku približne 50 pilotov na diaľku.

Vstupy analýzy pochádzali z priebežného hodnotenia výkonov jednotlivých pilotov počas výcviku a z dotazníku, ktorý dobrovoľne vyplnili. Pre zachovanie čo najvyššej miery objektívnosti priebežné hodnotenie výkonov pilotov posudzoval určený skúsený inštruktor.

Pri analýze všetkých výstupov z výcviku a dotazníkov, týkajúcich, boli použité štatistické metódy (testy hypotéz, model lineárnej regresie, ktoré boli prostriedkom na určenie ďalšieho zamerania analýz testovaného súboru. Pri testovaní hypotéz sme používali hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. Pomocou týchto metód sa vymedzilo smerovanie analýz, čo uľahčilo prvé zameranie sa na preukázané závislosti. Tieto metódy boli vykonané prostredníctvom programu Statistical Data Analysis - R, ktorý vytvoril Robert Gentleman a Ross Ihaka (Statistics Department of the University of Auckland).

Použité štatistické metódy:

Kruskalov – Wallisov test

Majme k nezávislých výberov. Nech prvý výber má rozsah n_1 , druhý výber má rozsah n_2 atď. až k -tý výber má rozsah n_k . Označme $n = n_1 + \dots + n_k$.

Predpokladajme, že každý výber pochádza z nejakého rozdelenia so spojitou distribučnou funkciou.

Chceme testovať hypotézu, že všetky výbery pochádzajú z toho istého rozdelenia.

Zoradíme všetkých n prvkov z k výberov do rastúcej postupnosti a určíme poradie každého prvku. Označíme T_i súčet poradí tých prvkov, ktoré patria do i -teho výberu, $i = 1, 2, \dots, k$.

Pre kontrolu musí platiť

$$T_1 + \dots + T_k = \frac{n(n+1)}{2}$$

Za platnosti nulovej hypotézy má veličina

$$Q = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

asymptoticky χ^2 rozdelenie s $k-1$ stupňami voľnosti.

Hypotézu zamietame na hladine významnosti α vtedy, keď platí

$$Q \geq \chi_{k-1}^2(\alpha)$$

Ak zamietneme hypotézu, znamená to, že tvrdíme, že všetky výbery nepochádzajú z toho istého rozdelenia.

Test nezávislosti v kontingenčných tabuľkách

Majme dvojrozmerný náhodný vektor $X = (Y, Z)$ taký, že Y môže nadobúdať iba hodnoty $1, 2, \dots, r$ a Z hodnoty $1, 2, \dots, c$ ($r > 1, c > 1$). Označme

$$p_{ij} = P(Y = i, Z = j).$$

Ďalej označme

$$p_i = P(Y = i) = \sum_{j=1}^c p_{ij}, \quad p_j = P(Z = j) = \sum_{i=1}^r p_{ij}.$$

Budeme predpokladať, že platí $p_{ij} > 0$ pre všetky dvojice (i, j) .
Majme výber o rozsahu n s rozdelením s pravdepodobnosťou p_{ij} . Tento výber sa dá popísať multinomickým rozdelením o rc triedach tvorených dvojicami (i, j) .
Ak označíme n_{ij} počet tých prípadov, kedy súčasne nastalo $Y = i$ a $Z = j$, môžeme výsledky zapísať v tvare tzv. *kontingenčnej tabuľky*:

Y	Z				Σ
	1	2	...	c	
1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1c}	$n_{1.}$
2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2c}	$n_{2.}$
...
r	n_{r1}	n_{r2}	...	n_{rc}	$n_{r.}$
Σ	$n_{.1}$	$n_{.2}$...	$n_{.c}$	n

Pritom

$$n_{i.} = \sum_{j=1}^c n_{ij}, \quad n_{.j} = \sum_{i=1}^r n_{ij}, \quad n = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c n_{ij}.$$

Čísla $n_{i.}$ a $n_{.j}$ sa nazývajú *marginálna početnosť*.

V kontingenčných tabuľkách sa testovala hypotéza, že veličiny Y a Z sú nezávislé.

Pri platnosti H_0 sú Y a Z nezávislé

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{\left(n_{ij} - \frac{n_{i.} n_{.j}}{n} \right)^2}{\frac{n_{i.} n_{.j}}{n}}$$

asymptoticky rozdelený chí-kvadrát s počtom stupňov voľnosti

$$f = rc - (r + c - 2) - 1 = (r - 1)(c - 1).$$

Ak dostaneme $\chi^2 \geq \chi_{(r-1)(c-1)}^2(\alpha)$, zamietneme hypotézu nezávislosti na hladine, ktorá je asymptoticky rovná α .
Vzorec sa dá upraviť na výpočtový tvar

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \frac{n_{ij}^2}{n_{i.} n_{.j}} - n.$$

Veličina je testovou charakteristikou, nie je mierou závislosti medzi Y a Z .

Model lineárnej regresie

Majme náhodné veličiny y_1, \dots, y_n a maticu daných čísel

$$X = (x_{ij}) \text{ typu } n \times k, \quad k < n$$

Pomocou regresnej funkcie chceme určiť priebeh závislosti medzi týmito premennými x_i a y_i , čo nám umožní odhadovať hodnoty závislej premennej y na základe hodnôt nezávislej premennej x .

Ak označíme teoretickú regresnú funkciu Y , tak pre každé konkrétne pozorovanie y_i platí rovnica

$$y_i = Y_i + \varepsilon_i,$$

kde y_i je empirická hodnota závislej premennej, Y_i je hodnota teoretickej regresnej funkcie a ε_i je odchýlka y_i od Y_i .
Označme parametre regresnej funkcie (neznáme konštanty) β_0, \dots, β_k . Potom vlastne platí

$$Y = f(x, \beta_0, \dots, \beta_k),$$

teda Y je funkciou x a neznámych parametrov β_0, \dots, β_k .

Potrebujeme určiť konkrétnu formu tejto funkcie a odhadnúť parametre β_0, \dots, β_k .

Označme odhady parametrov b_0, \dots, b_k . Empirická regresná funkcia potom bude mať tvar

$$\hat{y}_i = f(x, b_0, \dots, b_k)$$

Predpokladajme, že pre náhodný vektor $Y = (y_1, \dots, y_n)'$ platí

$$Y = X\beta + e,$$

kde $\beta = (\beta_0, \dots, \beta_k)'$ je vektor neznámych parametrov a $e = (e_1, \dots, e_n)'$ je vektor rezíduí.

Neznáme parametre β_0, \dots, β_k sa odhadujú *metódou najmenších štvorcov*, teda z podmienky, že súčet štvorcov odchýlok empirických hodnôt y_i a teoretických hodnôt Y_i má byť minimálny. To znamená, že musí platiť

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2 = (Y - X\beta)'(Y - X\beta) = \min$$

Odhady b_0, \dots, b_k parametrov β_0, \dots, β_k sú dané vzorcom

$$b = (X'X)^{-1} X'Y$$

Táto sústava rovníc sa nazýva *normálne rovnice*.

Pre priamkovú regresiu v tvare

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + e_i$$

dostávame odhady parametrov

$$b_0 = \frac{\sum x_i^2 \sum Y_i - \sum x_i \sum Y_i^2}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b_1 = \frac{n \sum x_i Y_i - \sum x_i \sum Y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

3.1. Letový simulátor a scenár testovania

Zo 112 pilotov vo výcviku absolvovalo 58 pilotov výcvik na simulátore UAS v rozsahu dvoch hodín. Pre výcvik bol vybraný komerčný simulátor PHOENIX RC (V5.5), ktorý používa pokročilé fyzikálne modely správania UAV.

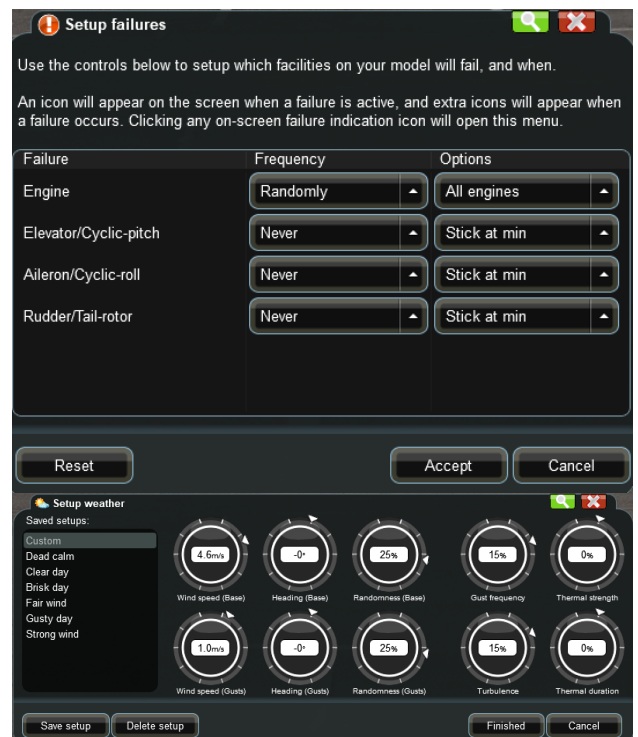


Obrázok 3 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5). Zdroj: Autori.

Na vývoji simulátora spolupracovali vývojári so špičkovými pilotmi, čím bolo dosiahnuté veľmi realistické správanie modelov. Podrobne je namodelovaná dynamika letu UA, pričom každý model je popísaný desiatkami parametrov a v prípade potreby sme tieto parametre mohli upravovať. Simulátor umožňuje simuláciu letov nasledovných kategórií UA: multikoptéra, vrtuľník, letún a klzák a obsahuje viac ako 150 typov modelov.



Obrázok 2 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5) – úprava parametrov UA. Zdroj: Autori.



Obrázok 3 Letový simulátor UAS- PHOENIX RC (V5.5) – nastavenie poruchy a meteorologických parametrov. Zdroj: Autori.

4. Výsledky merania

Pomocou popísaných štatistických metód sme určili signifikantnú závislosť jednotlivých vstupných hodnôt analýzy. Z analýzy vyplývajú nasledovné zistenia:

1. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 12,5% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v P-Mode a o 18,8% v M-Mode.
2. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 23,9% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v M-Mode pri sile vetra väčšej ako 3 m/s a o 35,1% pri sile vetra väčšej ako 6 m/s.
3. Piloti, ktorí mali v rámci praktického výcviku zahrnutý aj výcvik na simulátore mali o 26,6% lepšie hodnotenie jednotlivých letových úloh v M-Mode ak patrili do vekovej kategórie staršej ako 35 rokov.

4. 9 pilotov pokračovalo po úspešnom zvládnutí výcviku pilota multikoptéry vo výcviku pilot UAV – letún. Títo piloti výrazne preferovali možnosť počiatočného výcviku na simulátore pre získanie zručností na ovládanie UA – letún.

5. Záver

Sme si vedomí, že na pilotov UAS vo výcviku máme vyššie požiadavky ako vyžaduje certifikácia pilotov v podmienkach Slovenskej republiky. Tieto vyššie požiadavky nášho výcvikového centra vychádzajú z mnohoročných skúseností našich lektorov a inštruktorov praktického výcviku UAS. Pri teoretickom a praktickom výcviku pilotov poskytujeme výcvik s minimálne dvojnásobným časovým rozsahom ako ostatní poskytovatelia výcviku na Slovensku.

Najväčší problém pri výcviku majú piloti s letmi v M-Mode, ktorý môže byť nevyhnutný hlavne pri riešení núdzových a neštandardných situácií. Z tohto dôvodu sme sa rozhodli zaradiť do výcviku aj lety na simulátore UAS.

Z analýzy a spätnej väzby od pilotov vyplývajú nasledovné závery:

- Využitie simulátora UAS pri výcviku jednoznačne znižuje mieru stresu, hlavne pri letoch v manuálnom móde a pri zvýšenej rýchlosti vetra.
- Simulátor napomáha k rýchlejšiemu získaniu motorických zručností pri ovládaní UAS.

Význam využitia simulátora UAS sa javí ešte viac účelným pri výcviku pilotov UA – letún, kde dynamický priebeh praktického letu si vyžaduje prípravu na simulátore UAS. V opačnom prípade sa stretávame so zvýšenou záťažou pilotov vo výcviku, ale aj s veľmi zložitou situáciou inštruktora praktického výcviku UAS, ktorý musí včas prebrať riadenie v krízovej situácii, ktorú spôsobil pilot vo výcviku. Zatiaľ sme ale nemali dostatočný počet pilotov UA – letún vo výcviku pre získanie vierohodných údajov pre zistenie miery vplyvu využitia simulátora UAS na výcvik. V blízkej dobe sa chceme venovať v rámci výskumu aj tejto oblasti.

PodĎakovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 046ŽU-4/2019** s názvom „Inovácia vzdelávania v oblasti prevádzky lietadiel spôsobilých lietať bez pilota“.

Referencie

Acceptable Means of Compliance (AMC) and Guidance Material (GM) to Part-UAS UAS operations in the 'open' and 'specific' categories, 9 October 2019, European Union Aviation Safety Agency.

Ažaltovič, V., Kandra, B., 2018. Impact of unmanned aerial vehicles on the aviation safety [electronic], In: New trends in civil aviation 2018 [print] : proceedings of the 20th international conference. Žilinská univerzita v Žiline, 2018. - ISBN 978-80-554-1530-7. - s. 27-30.

Holoda Š., Kandra B., 2016 Problematika a vývoj legislatívy bezpilotných prostriedkov - UAV na Slovensku, In:

New trends in civil aviation 2016, Žilina: Žilinská univerzita, ISBN 978-80-554-1252-8. - S. 32-35.

Internetové stránky dopravného úradu: www.nsat.sk

Novák, A., Jún F., Škultéty F., Novák-Sedláčková, A., 2019. Measuring possible impact of GNSS interference on instrument approach on RWY 06 LZZI, In: Perner's Contacts [electronic], ISSN 1801-674X (online). s. 59-69

Novak, A., Mrazova, M., 2015. Research of physiological factors affecting pilot performance in flight simulation training device. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 17.3, 103-107.

Novák, A., Škultéty F., Kandra B., Ľusjak T., 2018. Measuring and testing area navigation procedures with GNSS, In: 19th International Scientific Conference - LOGI 2018 - London: Édition Diffusion Presse Sciences, 2018. - s. 1-8.

Rozhodnutie č. 2/2019 zo 14.11. 2019, ktorým sa určujú podmienky vykonania letu lietadlom spôsobilým lietať bez pilota a vyhlasuje zákaz vykonania letu určených kategórií lietadiel vo vzdušnom priestore Slovenskej republiky, Dopravný úrad.

Vykonávacie nariadenie komisie (EÚ) 2019/947 z 24. mája 2019 o pravidlách a postupoch prevádzky bezpilotných lietadiel, EURÓPSKA KOMISIA

AEROjournal

www.aero-journal.uniza.sk

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

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

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

<https://doi.org/10.26552/aer.J.2020.1>

ISSN: 1338-8215