

SPACE TRAFFIC MANAGEMENT AKO NOVÁ VÝZVA KOMERČNÉHO LETECTVA

SPACE TRAFFIC MANAGEMENT AS A NEW CHALLENGE FOR COMMERCIAL AVIATION

Dominik Mrňa

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
dominik.mrna@gmail.com

Matúš Materna

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
matus.materna@fpedas.uniza.sk

Abstract – This paper deals with the issue of space traffic management. Today, this system is fully applied only to the monitoring, coordination and regulation of satellites in Earth's orbits. The discussion on the future possibilities of passenger transport using suborbital flights is currently coming to the foreground, today. The space traffic management system will be of great commercial importance in the future. In its introduction, the work deals with the possibilities of using space from the point of view of valid international legislation. A new summary definition of the term space traffic management is created using the method of linguistic analysis. The work is further analyzed and summarized the current initiatives of individual organizations and states. Finally, the work focuses on the European concept of application of space traffic management to support suborbital travel.

Key words – Space traffic management, tracking, suborbital flight, space, European Union

I. ÚVOD

V minulosti slúžil vesmír predovšetkým na vedecké, armádne a prieskumné účely. S pokrokom technológie sa stal prístup do vesmíru omnoho ľahší aj pre súkromný sektor, ktorý teraz tento priestor využíva za účelom hospodárskeho rastu. Viaceré spoločnosti majú návrhy na vypustenie malých satelitov v takzvaných *megakonšteláciach*. Títo noví prevádzkovatelia avšak nemajú dostatočné skúsenosti s operáciami vo vesmíre. Používajú nové postupy pri tvorbe satelitov, ktoré by mohli znížiť spoľahlivosť satelitov a zvýšiť riziko pre ostatné zariadenia. Keďže v minulosti bola prevádzka na orbite menšia, pracovalo sa s jednoduchšími systémami *Space Traffic Managementu* (STM). Dnes sú na operácie vo vesmíre potrebné komplexné systémy. Preto bolo nevyhnutné, aby sa navrhol systém, ktorý bude varovať používateľov vesmírneho priestoru okolo Zeme pred možnými zrážkami satelitov. Aj keď tento systém existuje už dlhšiu dobu, stále nie je dokonalý a so zvyšujúcim sa počtom objektov (satelitov a trosiek) sa, žiaľ, zvyšuje aj jeho nepresnosť a výskyt falošných poplachov. V súčasnosti odborníci vyvíjajú

mnoho iniciatívy na zlepšenie tohto systému, hlavne čo sa týka presnosti pri sledovaní satelitov. Treba však spomenúť, že STM nie je len o sledovaní, ale aj o regulácii a pravidlách.

Druhá možnosť, kde by sa dal takýto systém využiť, sú suborbitálne lety. S rozvojom leteckej dopravy rastie aj záujem o cestovanie medzi kontinentmi špeciálnymi lietadlami pre cestujúcich alebo náklad po suborbitálnych dráhach, aby sa dala dosiahnuť čo najväčšia rýchlosť. Takéto lety by dramaticky znížili cestovný čas. Na základe takéhoto typu cestovania by sa dala jedna z najprestížnejších leteckých liniek na svete medzi Londýnom a New Yorkom zariadená namiesto dnešných zhruba 7 hodín za približne 30 minút. S vývojom potrebnej infraštruktúry a zariadení sa musí vytvoriť aj funkčný systém, ktorý by sa staral o efektívne a bezpečné využívanie vzdušného a vesmírneho priestoru pre takéto lety. Keďže už existuje systém STM pre družice, je potrebné vytvoriť obdobný systém pre komerčné lety. V USA sa tejto otázke už nejaký čas venujú a niektoré firmy sú už vo fáze testovania. Ak chce Európa zohrávať kľúčovú úlohu v tomto biznise, je potrebné, aby zahájila vývoj vlastného systému STM a v úzkej spolupráci s medzinárodnými partnermi a v súlade s globálnymi potrebami ho implementovala do segmentu leteckej a vesmírnej dopravy.

Hlavným cieľom tejto práce je zhodnotenie aktuálneho stavu STM v oblasti satelitnej prevádzky a budúcich suborbitálnych letov, ktorými si Európa zaoberá. Keďže nie je v našom prostredí pojem STM zaužívaný, časť tejto práce sa venuje vytvoreniu vlastnej definície pojmu STM pre potreby slovenských spoločností, ktoré by v budúcnosti mali záujem o výskum vesmíru.

II. MEDZINÁRODNO-PRÁVNA ÚPRAVA KOZMICKÉHO PRIESTORU A JEHO VYUŽÍVANIA

Využívanie vesmírneho priestoru ako aj telies, ktoré sa v ňom nachádzajú upravuje 5 základných medzinárodných zmlúv. Na dodržiavanie tohto práva dohliada Výbor OSN pre mierové využívanie vesmíru (UNCOPUOS).

Medzi týchto 5 základných zmlúv zaraďujeme:

- 1) Zmluva o zásadách činnosti štátov pri výskume a využívaní kozmického priestoru vrátane Mesiaca a iných telies;
- 2) Zmluva (dohoda) o záchrane astronautov, o návrate astronautov a návrate objektov vypustených do vesmíru;
- 3) Zmluva (dohoda) o činnosti štátov na Mesiaci a iných nebeských telesách;
- 4) Dohovor o medzinárodnej zodpovednosti za škody spôsobené vesmírnymi objektami;
- 5) Dohovor o registrácii objektov vypustených do vesmíru.

Odborná verejnosť považuje za hlavnú zmluvu *Zmluvu o zásadách činnosti štátov pri výskume a využívaní kozmického priestoru vrátane Mesiaca a iných telies*. Ostatné zmluvy sú už len akýmsi dodatkom ku tejto zmluve.

KÁRMÁNOVA HRANICA

Pri dobývaní vesmíru sa veľmi častou používa práve táto hranica. Nachádza sa vo výške 100 kilometrov na povrchu Zeme a ak ju človek prekoná, stáva sa z neho astronaut.

Theodore von Kármán navrhol aby hranica bola vytvorená tam, kde sily spôsobené orbitálnou dynamikou prevyšujú aerodynamické sily. V podstate to znamená, že hranica je tam, kde už vzhľadom na fyzikálne vlastnosti okolia nie je krídlo lietadla dostatočne účinné na produkovanie vzlaku a ak by takéto lietadlo chcelo vyprodukovať dostatok vzlaku musí sa zvýšiť jeho rýchlosť, ktorá presahuje schopnosti bežných prúdových motorov.

III. SPACE TRAFFIC MANAGEMENT AKO POJEM

Aj keď STM nie je nový pojem, ešte stále neexistuje preň presná a uznaná definícia, keďže každá zúčastnená strana má vlastnú definíciu na tento problém. Definícia: „*Space Traffic Management means the set of technical and regulatory provisions for promoting safe access into outer space, operations in outer space and return from outer space to Earth free from physical or radio – frequency interference,*” v preklade: „*Space traffic management znamená súbor technických a regulačných opatrení na podporu bezpečného prístupu do vesmíru, operácií vo vesmíre a návratu z vesmíru na Zem bez fyzického alebo rádiového rušenia,*“ je len jednou s mnohých.

Pretože na Slovensku neprevažuje žiadna používaná definícia, táto práca zahŕňa vytvorenie vlastnej definície pomocou metódy lingvistickej analýzy. Tá pracovala s 10 publikovanými definíciami a na základe najčastejšie vyskytovaných sa slov prišlo ku vytvoreniu novej definície. Tá znie: „*Space Traffic Management is a process of control, monitoring and coordination to achieve a safe environment for operations without collisions and interference, with reliable avoidance notification in case to access to orbit, operations on orbit or return back to atmosphere,*” v preklade: „*STM je proces kontroly, monitorovania a koordinácie za účelom dosiahnutia bezpečného prostredia pre operácie bez kolízií a rušenia, so spoľahlivými upozoreniami pred zrážkami a to v prípade vstupu*

na orbitu, prevádzky na orbite alebo počas návratu do atmosféry.“

PRINCÍP ČINNOSTI

Za hlavné myšlienky pri činnosti STM možno považovať:

- 1) Sledovanie satelitov a vyhodnotenie rizika zrážky;
- 2) udržateľnosť vesmírnych činností.

V súčasnej dobe existujú na svete 3 hlavné systémy na monitorovanie situácie vo vesmíre (SSA – Space Situation Awareness). Sú to:

- 1) Space Surveillance Network – SSN – americký systém;
- 2) Space Surveillance and Tracking – SST – európsky systém;
- 3) International Scientific Optical Network – ISON – medzinárodný systém.

Za najmodernejší a najvyspelejší sa považuje systém, ktorý prevádzkuje Ministerstvo obrany USA, teda SSN. Táto sledovacia sieť pozostáva z pozemných a vesmírnych radarov a teleskopov. Systém používa tri typy snímačov na monitorovanie objektov. Sú to: konvenčné radary, radary s fázovým usporiadaním a optický systém GEODSS (Ground-Based



Obrázok 29: Space Surveillance Network pod správou USA.
Zdroj:

<https://www.economist.com/briefing/2019/07/18/attacking-satellites-is-increasingly-attractive-and-dangerous>, upravené autorom

Electro-Optical Deep Space Surveillance).

Táto sieť radarov a teleskopov generuje približne 80000 pozorovaní za deň. Vzhľadom na geografické obmedzenia, hlavne čo sa týka rozmiestnenia jednotlivých snímačov, systém nie je schopný nepretržitej kontroly všetkých objektov okolo Zeme. Tento systém preto používa aj prediktívnu techniku – pravidelne sa kontroluje, že každý objekt je tam, kde by mal byť a ak nie je, generuje nové množiny polôh. Sledovací systém avšak nie je dokonalý a z tohto dôvodu vzniká *bublina neistoty*, teda bublina možných pozícií, kde sa sledovaný objekt môže nachádzať. Všeobecne platí, že čím väčšia je bublina neistoty, tým väčší je počet falošných poplachov konjunkcií, ktoré bude systém STM vytvárať. [1]

Udržateľnosť vesmírnych operácií je program, ktorý má zabezpečiť, aby celé ľudstvo mohlo naďalej a dlhodobo využívať vesmír na mierové a sociálne – ekonomické účely.

Tento program ďalej slúži na to, aby nikomu nemohlo byť odopreté mierové využívanie vesmíru. Slúži to hlavne preto, aby sa aj malé krajiny s rozvíjajúcim vesmírnym programom mohli zúčastniť na výskume vesmíru a aby neboli obmedzované krajinami s vysokým stupňom využívania vesmíru. Pri tomto programe sa berie hlavný zreteľ na:

- 1) Rádiové rušenie;
- 2) vesmírny odpad;
- 3) vesmírne počasie.

Rušenie môže byť prirodzené a umelé. Prirodzené rušenie je rušenie, ktoré nebolo vyvolané ľudskou činnosťou. Ide teda hlavne o slnečné búrky, stav vesmírneho počasia, mohutné oblaky a dážď. Umelé rušenie je spôsobené inými zariadeniami alebo ľudskou činnosťou. Umelé rušenie je teda výsledkom satelitu vysielajúceho sa príliš blízko k inému satelitu na rovnakej frekvencii alebo z pozemných komunikačných systémov pracujúcich na rovnakej alebo podobnej frekvencii ako vesmírne systémy. Prípadne môže ísť o úmyselné rušenie spôsobené rušičkami signálu. Takéto rušenie potom môže dočasne alebo úplne narušiť fungovanie satelitu bez toho, aby prišlo ku fyzickému zničeniu. Preto tento program apeluje na to, aby sa čo najviac zabránilo rádiovému rušeniu medzi satelitmi navzájom. Na základe toho je potrebné, aby rádiové zariadenia objektov na orbite spĺňali medzinárodné normy pre filtrovanie rušivých vplyvov. V súčasnej dobe existujú medzinárodné a vnútroštátne programy a smernice na reguláciu rádiovkej komunikácie. Avšak tieto programy a smernice sa viacej sústreďujú na pridelovanie frekvencií ako na to, ako predísť rušeniu. Preto je potrebné, aby štáty vykonávajúce činnosť vo vesmíre s cieľom udržateľnosti prijali opatrenia, ktoré minimalizujú škodlivé rušenie ich činnosťou a aby koordinačný orgán prideloval rádiové frekvencie s cieľom zamedziť rušeniu.

Tento program sa týka problému s kozmickým odpadom. Podľa NASA sa kozmickým odpadom na orbite rozumie ľudsky vytvorený objekt, ktorý už ďalej neslúži svojej užitočnej funkcii. Môže ísť o nefunkčnú kozmickú loď (satelit), opustené raketové stupne, trosky súvisiace s misiou vo vesmíre a iné fragmenty. Program pracuje s aktívnym a pasívnym odstraňovaním trosiek. Aktívnemu odstraňovaniu sa venujeme v kapitole číslo 3, a preto si bližšie špecifikujeme pasívne odstraňovanie. Pasívne odstraňovanie odpadu je regulačný súbor, ktorý sa týka fázy plánovania, navrhovania, výroby a prevádzky vesmírneho zariadenia. Apeluje na to, aby štáty používali technológie, ktoré neuvolňujú zo satelitov a iných zariadení žiaden odpad. Ak takúto technológiu nevedia vytvoriť, mali by čo najviac zmierniť nepriaznivému vplyvu odpadu na ostatné satelity. Ďalej by mali operátori obmedziť pravdepodobnosť náhodnej zrážky, vyhnúť sa úmyselnému zničeniu, minimalizovať potenciál náhodného výpadku zariadenia a znížiť riziko rozpadu zariadenia po skončení misie vo vesmíre. Aktívny mechanizmus na odstraňovanie zvyškov bol navrhnutý pre čistenie priestoru na obežných dráhach Zeme. Jedná sa o priame odstraňovanie týchto zvyškov. Avšak tento mechanizmus má obmedzený rozsah účinnosti, keďže trosky sa po prípadnej nehode šíria veľmi rýchlo a do všetkých smerov a preto je nemožné, aby sa mechanizmy na odstraňovanie úlomkov krížili s dráhami, kde operujú ďalšie satelity. Ďalším problémom je aj to, že aktívne odstraňovanie odpadu vo vesmíre si vyžaduje vysokú úroveň technickej kapacity spolu so značným rozpočtom.

Pre potreby STM a sledovania vesmírneho počasia je potrebné, aby bolo zabezpečené nepretržité sledovanie stavu tohto počasia a na základe nameraných údajov si vymieňať znalosti a informácie medzi jednotlivými štátmi. V prípade zistenia nepriaznivého stavu vesmírneho počasia by sa takáto informácia mala rozšíriť všetkým používateľom vesmíru v záujme zachovania bezpečnosti. Pri návrhu zariadení, ktoré majú plniť misiu vo vesmíre je potrebné, aby sa poznali jednotlivé účinky vesmírneho počasia na jednotlivé zariadenia, a tým sa čo najviac minimalizovalo ohrozenie misie a iných zariadení na orbitách Zeme.

IV. AKTUÁLNE INICIATÍVY V OBLASTI STM

Aktuálne iniciatívy možno rozdeliť na dva hlavné body:

- 1) Minimalizovanie počtu objektov;
- 2) vylepšené/dodatočné dáta a spracovanie. [1]

MINIMALIZOVANIE POČTU OBJEKTOV

Tento program sa zaoberá tým, že by sa výrazne skrátil čas, ktorý sa vymedzuje na odstránenie satelitu z obežnej dráhy na inú obežnú dráhu, na ktorej už nefunkčné satelity nebudú robiť prekážku pre tie funkčné. Takýto manéver môže trvať aj 25 rokov a preto sa apeluje na to, aby sa dosiahlo skrátenie na niekoľko mesiacov, maximálne pár rokov. Druhá možnosť je navrhnuť efektívne aktívne odstraňovanie zvyškov, avšak tento koncept si vyžaduje vysokú technologickú úroveň a obrovský rozpočet. [1]

VYLEPŠENÉ/DODATOČNÉ DÁTA A SPRACOVANIE

Tento program má za účel zredukovať spomínanú bublinu neistoty, teda možnú oblasť, kde sa satelit môže nachádzať. Tým by sa znížil aj počet falošných poplachov.

Táto možnosť zahŕňa presunutie zodpovednosti za sledovanie z vojenského sektoru na civilný, kde by boli vybrané firmy, ktoré by zodpovedali za sledovanie a vydávanie upozornení. Ďalej by sa mohlo do sledovania zapojiť viacej subjektov, ktoré disponujú sledovacími zariadeniami, aby sa viacej zvýšila schopnosť presnej predpovede možného rizika. Hlavné sledovacie systémy by ďalej mohli využívať dáta o polohe od samotných operátorov, pretože tí disponujú dostatočne kvalitnými údajmi spolu s možnosťami prípadných manévrovacích schopností daného satelitu. Na presnejšie určenie polohy by sa mohli taktiež využívať pasívny a aktívny sledovací systém, ktorý by bol umiestnený na objektoch vo vesmíre. Pasívny spočíva v umiestnení retroreflektora na zariadenie, ktoré by potom bolo schopné odrážať vysielaný signál. Aktívny systém spočíva v umiestnení transpondéru na zariadenie, ktorý permanentne vysielá alebo môže byť požiadaný o vyslanie aktuálnej polohy. Tieto systémy sa však dajú aplikovať len na zariadenia, ktoré sa do vesmíru budú vysielat'. Na satelity v prevádzke sa toto uplatniť nedá.

Americká armáda momentálne disponuje úplne novým zariadením nazývaným *Space Fence radar*, ktorý sa nachádza na Marshallových ostrovoch. Tento radar monitoruje určitú časť oblohy a čaká na objekty, ktoré prechádzajú monitorovanou časťou. Tento radar je schopný detegovať objekty na nízkej, strednej a geostacionárnej obežnej dráhe a celkovom počte až 20000 objektov s najmenšou veľkosťou približne 10 centimetrov.

- poskytovať informácie v prípade nepredvídateľnej udalosti – málo paliva, diverzia na iné letisko;
- 5) po odovzdaní lietadla spať do oblasti pod správou ATCO je riadiaci povinný si skontrolovať, či pozícia lietadla súhlasí s plánom a v prípade chyby musí vydať korekčné príkazy pre opätovný návrat na správnu trať;
 - 6) na záver by sa let odriadiť ako štandardné lietadlo, teda riadiaci by pilotov naviedol na pristátie na letisko aj s príslušnými manévrami po infraštruktúre letiska.

Na to, aby sa takéto cestovanie mohlo stať skutočným bude potrebný rozsiahly vývoj infraštruktúry – lietadiel a letísk, monitorovacích centier a zariadení a postupov pre komunikáciu, navigáciu a dohľad. Ďalej bude potrebné implementovať prvky STM do existujúceho ATM, aby lety medzi vzdušným a vesmírnym priestorom nespôsobili problémy pre leteckú dopravu. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že spolupráca a nájdenie čo najväčšieho konsenzu medzi systémami ATM a STM bude jedna z hlavných priorít. [4]

VII. ZÁVER

Pojem Space Traffic Management už nejakú dobu existuje a využíva sa hlavne pre potreby satelitných operácií. Keďže sa prístup do vesmíru stal omnoho jednoduchším a mnoho spoločností či už zo súkromného, alebo verejného sektora má úmysel umiestniť svoje zariadenia na orbitu Zeme, bolo potrebné, aby sa tento, na počiatku jednoduchý systém, ešte viacej zdokonalil. Najkomplexnejším a najrozvinutejším systémom momentálne disponuje Amerika. Ak to porovnáme s Európou, vyjde nám, že Amerika má voči Európe obrovský náskok v problematike STM a satelitných operácií. Kým si USA neustále zlepšuje svoju sieť, sledovacie možnosti, právne a regulačné záležitosti a niektoré z produktov je aj schopná poskytovať pre iné subjekty, Európa je na oblasti STM pomerne malým hráčom, ktorý sa momentálne snaží získať väčší podiel na trhu s týmito službami. Preto pristúpila k vybudovaniu vlastných kapacít, ktoré by zabezpečili, že Európa by už naďalej nebola závislá na pozorovacích údajoch od tretích strán, ale taktiež by bola schopná konkurovať ostatným systémom, hlavne tomu americkému. Prvé kroky začali v roku 2009, kedy vznikol program SSA. Ako sa bude európsky STM ďalej vyvíjať, ukáže nový pracovný program, ktorý vstúpi do platnosti v roku 2021.

Náskok medzi USA a Európou je na poli komerčného cestovania po suborbitálnych dráhach tiež dosť výrazný. Z dostupných zdrojov vieme, že v USA sú už firmy, ktoré ponúkajú možnosť vesmírneho cestovania. Takýto let síce nevedie z jedného bodu do druhého, ale mohli by sme to pokladať za míľnik, ktorý jedného dňa naberie celosvetový charakter. Európa, žiaľ, ničím takýmto nedisponuje a všetky návrhy sú zatiaľ len na papieri. Európsky referenčný scenár nám ukázal, ako by takéto cestovanie vyzeralo, či by vedelo fungovať a aké systémy sú na to potrebné. Preto bude nevyhnutné, aby sa v Európe dosiahol posun v technológiách, ktoré takéto lety umožňujú. Európa si teda bude musieť vybudovať novú infraštruktúru, monitorovacie siete, plánovacie zariadenia, odborné produkty a služby, ale hlavne pozemné a letecké vybavenie. Vybudovanie niektorých monitorovacích sietí už momentálne prebieha a sú zahrnuté v programe SSA. Tie sa síce

týkajú satelitných operácií, ale ich know-how by sa dalo aplikovať aj do tohto segmentu, prípadne by sa tento program mohol využívať aj pre potreby suborbitálnych letov. V prevádzkovej príručke konceptu Skylon môžeme nájsť návrh letiska, ktoré by bolo schopné vykonávať a obsluhovať takéto lety. Pri niektorých riešeniach, žiaľ, prichádza ku konfrontácii so systémami a postupmi zavádzanými na zefektívnenie leteckej dopravy. Týka sa to hlavne pružného využívania vzdušného priestoru. Preto bude potrebné nájsť pre tento problém, ale aj pre všetky ostatné, ktoré sa môžu naskytnúť, potrebný konsenzus, aby mohli systémy STM a ATM spolupracovať.

Celkovo sa príbuznosť systémov ATM a STM sa v tomto momente môže zdať ako veľká výhoda, keďže si tento novovznikajúci systém môže brať príklad z osvedčených postupov z ATM a implementovať a aktualizovať ich ho do svojho prostredia. Príklad by si taktiež mohol brať aj z navigačných, komunikačných a sledovacích zariadení, ktoré by však bolo potrebné aktualizovať pre potreby vesmírnych letov. Tým by sa mohla znížiť prípadná finančná náročnosť celého projektu. Celkovú finančnú náročnosť možností vesmírneho cestovania nepoznáme, keďže tento scenár sa venoval technickej stránke a stránke uskutočniteľnosti takéhoto projektu. K dispozícii sú zatiaľ len odhady a pri niektorých spoločnostiach aj reálne ceny za let. DLR odhaduje, že v roku 2030 by sa preprava pasažierov a nákladu po suborbitálnych dráhach mohla v Európe stať skutočnosťou. V prvom rade bude teda nutné otestovať a certifikovať potrebné monitorovacie siete, ktoré by mohli vychádzať z monitorovacích sietí pre satelitné operácie. Potom príde na rad pozemná infraštruktúra a na záver plnohodnotný model vesmírneho lietadla. Ten by mal byť v tom čase už plne certifikovaný, takže s jeho testovaním by sa malo začať v dostatočnom predstihu, aby sa mohla hypoteticky v roku 2030 začať prvá prevádzka. Ak zoberieme do úvahy, že dnes certifikácia pre lietadlá trvá približne 5 rokov (podľa EASA), pri aplikovaní na model vesmírneho lietadla nám by sa malo začať s prvými testami okolo roku 2025. Vzhľadom na súčasnú krízu, ktorá zasiahla svet, sa dá predpokladať, že tento časový rámec nebude dodržaný a značne sa omešká.

REFERENCIE

- [1] PETERSON, G., SORGE, M., AILOR, W.: Space traffic management in the age of new space. The Aerospace Corporation [online]. 2018. dostupné na: https://aerospace.org/sites/default/files/2018-05/SpaceTrafficMgmt_0.pdf
- [2] SSA Programme overview. In ESA [online]. Dostupné na: https://www.esa.int/Safety_Security/SSA_Programme_overview
- [3] Space Surveillance and Tracking – SST Segment. In ESA [online]. Dostupné na: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Surveillance_and_Tracking_-_SST_Segment
- [4] TULLMANN, R. et al.: On the Implementation of a European Space Traffic Management System. DLR GfR [online]. 2017. Dostupné na: https://www.dlr.de/gfr/Portaldata/59/Resources/intern/galileo/air_meets_space_solutions/STM_tuellmann_etal_2017_1_WhitePaper.pdf

- [5] TOMOVÁ, A. 2015. The need for new directions in airspace economics: seventy years after Chicago. *Journal of air transport management*. - ISSN 0969-6997. - Vol. 44-45 (2015), s. 1-7.
- [6] TOMOVÁ, A. 2016. Are commercial revenues important to today's European air navigation service providers? *Journal of air transport management*. - ISSN 0969-6997. - Vol. 54 (2016), s. 80-87.
- [7] MATERNA, M. 2019. Variants of air navigation service providers' business models. *TRANSCOM 2019 [electronic] : conference proceedings*. - ISSN 2352-1465. - 1. vyd. - Amsterdam: Elsevier Science, 2019. - s. 1127-1133 [online].
- [8] GALIERIKOVÁ, A., MATERNA, M., SOSEDOVÁ, J. 2018. Analysis of risks in aviation. *Transport Means 2018 [print, electronic] : proceedings of 22nd International Scientific Conference*. - ISSN 1822-296X. - 1. vyd. - Kaunas: Kaunas University of technology, 2018. - s. 1427-1431 [print, online].
- [9] NOVÁK, A., HAVEL, K., ADAMKO, P. 2019. Number of conflicts at the route intersection – minimum distance model. In *Aviation*. ISSN 1648-7788, roč. 23, č. 1, s. 1-6.
- [10] HAVEL, K., BALINT, V. & NOVÁK, A. 2017. A number of conflicts at route intersections - Rectangular model. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina* 19(2), pages 145-147
- [11] NOVÁK, A. 2011. *Komunikačné, navigačné a sledovacie zariadenia v letectve*. Bratislava : DOLIS, 2015. - 212 s. ISBN 978-80-8181-014-5.
- [12] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2010. *Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva*. Žilinská univerzita, 2010. - 125 s. ISBN 978-80-554-0300-7.

Bc. Dominik Mrňa – narodený v roku 1996 v Malackách. V roku 2015 absolvoval Gymnázium sv. Františka Assiského v Malackách a následne nastúpil na Katedru leteckej dopravy Žilinskej univerzity v Žiline. Počas štúdia pracoval na letisku M.R. Štefánika v Bratislave na pozíciách pozemnej obsluhy lietadiel, bezpečnostnej kontroly cestujúcich a prevádzkového dispečingu.