

# PRAVDEPODOBNOŠŤ NEHODY BEZPILOTNÉHO LETECKÉHO PROSTRIEDKU NA ZEMI V OBÝVANEJ OBLASTI

## THE PROBABILITY OF AN ACCIDENT OF UAV ON THE GROUND IN AN URBAN ENVIRONMENT

**Viliam Ažaltovič**

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

**Iveta Škvareková**

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

**Pavol Pecho, PhD.**

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

**Branislav Kandra**

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

**Abstract**

The study in this paper defines the amount of the possible ground casualty risk of randomly falling out-of-control UAV on a picked flight path, which was defined from the city of Žilina to the city of Martin, which were 29 km apart. For this area, the probability of a third party casualties caused by lose of control during the flight of UAV, was calculated. For these calculations was used the Equivalent Level of Safety approach. The conclusion provides recommendations for safety improvements during planning flight routes for unmanned aerial vehicles.

**Keywords**

UAV, risk, ELOS, Aerial Work

**1. Úvod**

Technologický vývoj, týkajúci sa bezpilotných leteckých prostriedkov je za posledné roky veľmi rýchly. Bepilotné letecké prostriedky budú súčasťou našej budúcnosti. Rýchle zmeny v technológii bezpilotných lietadiel sú prísľubom budúceho využívania vzdušného priestoru a letectva, keďže sa digitálna transformácia rozširuje smerom hore. Vyžaduje si to postupnú zmenu spôsobu riadenia vzdušného priestoru. V zásade sa každý deň na oblohe presunie z niekoľkých tisíc konvenčných lietadiel na potenciálne stovky tisíc vysoko prepojených a automatizovaných bezpilotných leteckých prostriedkov, ktoré ponúkajú pokročilé služby dátového riadenia a pôsobia takmer všade.

Článok je súčasťou výskumu dizertačnej práce, ktorá sa zaoberá podrobným skúmaním dopadu prevádzky bezpilotných leteckých prostriedkov na bezpečnosť v leteckej doprave a to najmä z legislatívneho pohľadu, keďže táto sféra sa neustále vyvíja a je potrebná čo najlepšia adaptácia na súčasné prevádzkové potreby, aby bol vhodný pomer medzi prevádzkovými potrebami užívateľa a bezpečnosťou prevádzky týchto prostriedkov vo vzdušnom priestore.

**2. Cieľ a metodika**

Cieľom článku a zároveň aj jedným z cieľov dizertačnej práce je definovanie miery rizika pri použití bezpilotných leteckých prostriedkov vo vzdušnom priestore Slovenskej Republiky, a návrh opatrení za zvýšenia bezpečnosti prevádzky bezpilotných leteckých prostriedkov, či už za pomoci zmeny legislatívy, alebo

zavedením povinnej minimálnej štandardizácie pre určité komponenty systému UAV. V najbližších rokoch možno očakávať veľkú reformáciu legislatívy pre bezpilotné letecké prostriedky a to najmä z dôvodu neustále sa navyšujúcich počtov UAV vo vzdušnom priestore, a zároveň postupné zavádzanie koncepcie U-space, ktorý, zabezpečí integráciu bezpilotných leteckých prostriedkov do už existujúcich letových priestorov. V spojitosti s týmto, bude musieť byť vypracovaná nová legislatíva.

Vysoká miera nehodovosti UAV počas prevádzky je často uvádzaná ako odstrašujúci prostriedok, ktorý bráni rozšíreniešiemu nasadeniu, a je jedným z mnohých obmedzujúcich faktorov k využitiu UAV v civilnom vzdušnom priestore.



Obrázok 1: Havarovaný dron Indických vzdušných síl [Zdroj: <https://www.dailyexcelsior.com/wp-content/uploads/2017/08/uav.png>]

Vyvinutá bola „zodpovedajúca úroveň bezpečnosti“ (Equivalent Level of Safety Concept - ELOS) a navrhnuté bezpečnostné normy pre lietadlá s posádkou súvisiace s letmi bez posádky, definovaním katastrofickej podmienky zlyhania systému UAV, ktorá má za následok najmenej jednu nehodu spôsobenú treťou stranou spôsobujúcou vzdušnú kolíziu alebo zranenie na zemi. Analýza ELOS je založená na modeli padajúceho objektu odvodenom z metodiky hodnotenia bezpečnosti komerčnej leteckej dopravy a je overená porovnaním s údajmi o nehodách lietadla, použitím údajov o hustote dopravy a údajov o hustote obyvateľstva pre rôzne letové dráhy zodpovedajúce potenciálnym aplikáciám. Štúdia dospela k záveru, že existujúca miera poruchovosti UAV je neprijateľná pre prevádzku nad silne obývanými oblasťami, pričom kritická miera poruchovosti systému sa pohybuje v rozmedzí od  $6,5 \cdot 10^{-6}$  na letovú hodinu pre UAV s nákláňacími rotormi (tiltrotor) a pre let z bodu A do bodu B (medzimestské lety)  $1,0 \cdot 10^{-7}$  na letovú hodinu pre UAV prevádzkované v husto osídlených oblastiach. Táto štúdia viedla k mapovaniu vybraných neletových zón pre UAV. [4]

ELOS sa používa na definovanie kritérií miery porúch pre systémy UAV, ktoré sú kritické pre let. Pre lietadlá s posádkou je katastrofický stav definovaný ako udalosť, ktorá spôsobuje úplnú stratu lietadla plus úmrtia letovej posádky a cestujúcich. Napríklad katastrofický stav môže byť definovaný ako strata riadenia letu, ktorá vedie k neschopnosti pokračovať v bezpečnom lete do prístátia. UAV však vylučuje každú prvú stranu (t.j. letovú posádku) alebo druhú stranu (t.j. cestujúcich), ktorá vznikla v dôsledku straty kontroly. Katastrofická podmienka pre bezpilotné lietadlo je preto definovaná ako poruchová udalosť, ktorá má za následok najmenej jednu tretiu stranu v dôsledku kolízie vo vzduchu alebo zranenia na zemi. [5]

Prístup ELOS porovnáva kritérium miery zlyhania UAV s akceptovateľným kritériom straty kontroly pre lietadlá s posádkou, upravené o podmienenú pravdepodobnosť, že strata kontrolného scenára má za následok aspoň jednu nehodu tretej strany:

$$L_{GC} * P_{CF} = P_{CM} \quad (1)$$

$L_{GC}$  - pravdepodobnosť obetí tretích strán v dôsledku straty kontroly

$P_{CF}$  - maximálna prijateľná pravdepodobnosť straty kritickej funkcie UAV

$P_{CM}$  - maximálna prijateľná pravdepodobnosť straty kritickej funkcie lietadla s posádkou

Výskyt akéhokoľvek stavu poruchy, ktorý by zabránil ďalšiemu bezpečnému letu a prístátiu letúna, musí byť mimoriadne nepravdepodobný. Prostriedky na preukázanie zhody s týmto pravidlom sú definované ako proces posudzovania bezpečnosti, ktorý používa kvantifikovateľné kritériá miery zlyhania pre termín „extrémne nepravdepodobný“. Uplatňovanie kritérií miery zlyhania lietadla s posádkou aplikované na typické UAV typu VTOL (Vertical Take off nad Landing), vrátane lietadiel s jedným turbínovým motorom s hrubou hmotnosťou do 6 000 libier (2721 kilogramov), maximálna prijateľná pravdepodobnosť stavu poruchy, ktorá by zabránila pokračovaniu bezpečnému letu a prístátiu je:

$$P_{CM} = 1 \cdot 10^{-7} \quad (2)$$

kde  $P_{CM}$  predstavuje maximálnu prijateľnú pravdepodobnosť straty kritickej funkcie lietadla s posádkou. V súčasnosti neexistujú žiadne zverejnené normy civilnej letovej spôsobilosti pre bezpilotné lietadlá. [4], [5]

Keď použijeme substitúciu vzťahu 1 do vzťahu 2, dostaneme:

$$P_{CF} = \frac{1 \cdot 10^{-7}}{L_{GC}} \quad (3)$$

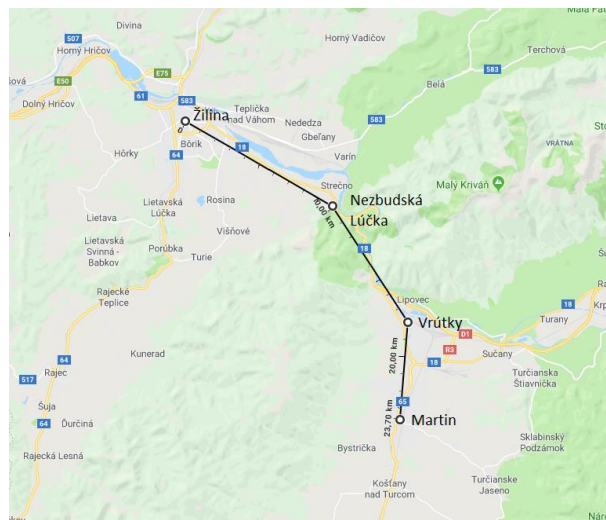
Zo vzťahu 3 vyplýva, že kľúčom je výpočet pravdepodobnosť obetí tretích strán spôsobených stratou kontroly.

Za predpokladu rovnakého času preletu ponad každú oblasť a rovnomerne rozloženej hustoty obyvateľstva sa kritérium miery zlyhania ELOS vypočíta nasledovne:

$$L_{GC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i A_c = 0,0341 \quad (4)$$

$$P_{CF} = \frac{1 \cdot 10^{-7}}{L_{GC}} = \frac{1 \cdot 10^{-7}}{0,0341} = 2,932 \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Na základe ekvivalentnej úrovne bezpečnosti (ELOS) bol uskutočnený výskum a teoretická aplikácia na využitie doručovacích dronov v mestskom prostredí. Cieľom bola analýza a výpočet možného rizika počas náhodne padajúceho dronu do obývanej oblasti.



Obrázok 2: Návrh trasy pre UAV v Žilinskom regióne [zdroj: maps.google.com]

V nasledujúcej tabuľke sú možné vidieť základné a všetky potrebné údaje na vyriešenie výpočtov aplikovaných na Žilinský región. Všetky údaje sú aktuálne k 31.12.2018.

Tabuľka 1: Údaje o skúmaných oblastiach

Región	Obyvateľstvo (2018)	Plocha regiónu [km <sup>2</sup> ]	Hustota osídlenia [ľudia/km <sup>2</sup> ]
Žilina	80 810	80,03	1010
Mojšova Lúčka	430	2,95	146
Nezbudská Lúčka	388	8,21	47
Vrútky	7 762	18,66	416
Martin	54 618	67,74	806

### 3. Záver

Definovanie miery rizika prevádzky bezpilotných leteckých prostriedkov vo vzdušnom priestore je dôležitým aspektom k vytvoreniu správnej legislatívy a zavedenie štandardizácie do tohto sektora. Tento výskum definoval riziko náhodne padajúceho bezpilotného leteckého prostriedku v mestskom a dedinskom prostredí v žilinskom regióne. Na základe výpočtov, autor zistil, že v skúmanej oblasti je riziko definované na  $2,932 * 10^{-6}$ .

Výsledok je silne závislý od hustoty zaľudnenia istej oblasti. Táto trasa bola vybraná zámerne z dôvodu využitia týchto prostriedkov vo veľkých mestách, v ktorých nie je možné sa vyhnúť a preletieť cez obývané oblasti, takže autor považoval definovanie potenciálneho rizika za dôležité.

### 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“.

### 4. Referencie

- Beňo, L., Bugaj, M., & Novák, A. (2005). Application of RCM principles in the air operations. *Komunikacie*, 7(2), 20-24.
- Bugaj, M. 2012. Failure analysis-basic step of applying reliability centered maintenance in general aviation. *Transport Problems* 7(1), pages 77-86.
- Catlos, M., Kurdel, P., Sedlakova, A. N., Labun, J., & Ceskovic, M. (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
- Columbia Accident Investigation Board, Report Volume II Appendix D.16, "Determination of Debris Risk to the Public Due to the Columbia Breakup During Reentry," Government Printing Office, Washington, D.C., October 2003.

Dopravný úrad 2018. Rozhodnutie dopravného úradu SR č. 1/2015 z 19.08.2015. Dostupné na: [http://nsat.sk/wp-content/uploads/2014/08/DU\\_RPAS-merged.pdf](http://nsat.sk/wp-content/uploads/2014/08/DU_RPAS-merged.pdf)

Fotouhi, A., Qiang, H. Survey on UAV Cellular Communications: Practical Aspects, Standardization Advancements, Regulations, and Security Challenges, 31 March 2019. *Journal of Communications Surveys and Tutorials*

King, W.D. (2005). UAV Failure Rate Criteria for Equivalent Level of Safety. 26 – 29 September 2005, Presented at the International Helicopter Safety Synopsium, Montréal, Quebec, Canada

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Assessing the Risks of Integrating Unmanned Aircraft Systems (UAS) into the National Airspace System. Washington, DC: The National Academies Press.

Novák, A., Novák Sedláčková, A. 2015. International civil aviation regulations, 1. vyd. – Bratislava : DOLIS, 2015. – 150 . ISBN 978-80-8181-011-4

Sedlacková, A. N., Kurdel, P., & Mrekaj, B. (2018). Synthesis criterion of ergatic base complex with focus on its reliability. Paper presented at the *\_2017 IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics, INFORMATICS 2017 - Proceedings\_*, 2018-January\_ 318-321. doi:10.1109/INFORMATICS.2017.8327267

Standardization Roadmap for Unmanned Aircraft Systems, Version 1.0. December 2018. Prepared by the ANSI Unmanned Aircraft Systems Standardization Collaborative (UASSC)

Škultéty, F., Badánik, B., Bartoš, M. & Kandra, B. 2018. Design of Controllable Unmanned Rescue Parachute Wing. *Transportation Research Procedia* 35, pages 220-229