



# ANALÝZA RIZÍK PREVÁDZKY UAS V OSOBITEJ KATEGÓRII

**Dávid Hruška**  
Air Transport Department  
University of Žilina  
Univerzitná 8215/1  
010 26 Žilina

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

## Abstract

*The rapid development of drone technology brings a wide range of opportunities in various sectors, but the integration of drones into urban environments requires a careful assessment of ground risks. This thesis explores the challenges and solutions of risk assessment in Žilina. The thesis uses the SORA (Specific Operations Risk Assessment) methodology and analyses available population density data and city maps. The analysis shows that the operation of UAS in Žilina is associated with different degrees of ground risks, which vary depending on the location and type of operation. The densely populated city centre poses the highest risk. Responsible operation of UAS requires a comprehensive approach to risk management that includes precise route planning, risk mitigation strategies and use of data.*

## Keywords

UAS, SORA, risk assessment, urban environment, Žilina

## 1. Úvod

Rýchly vývoj technológie dronov otvoril široké možnosti v rôznych priemyselných odvetviach a sľubuje revolučný pokrok v logistike, monitorovaní infraštruktúry a nespočetných ďalších aplikáciách. Úspešná integrácia dronov do zložitého mestského prostredia však čelí zásadnej výzve - zaisteniu bezpečnosti. Základom zodpovednej prevádzky dronov je posúdenie pozemných rizík, dôkladné vyhodnotenie potenciálnych rizík pre ľudí a majetok v prípade zlyhania dronu. Metodika posudzovania špecifických prevádzkových rizík (SORA), ktorú zaviedla Agentúra Európskej únie pre bezpečnosť letectva (EASA), poskytuje štruktúrovaný rámec na hodnotenie a zmierňovanie týchto rizík. Účinnosť metódy SORA však závisí od jedného kľúčového prvku: dostupnosti presných a podrobných geopriestorových údajov.

V tejto práci sa skúmajú výzvy spojené s hodnotením pozemných rizík pri prevádzke dronov v meste Žilina na Slovensku. Hoci Žilina ponúka sľubnú prípadovú štúdiu potenciálnych prínosov technológie dronov, jej súčasné rozhranie údajov prináša značné obmedzenia. Mesto Žilina na Slovensku so svojou kombináciou husto obývaných mestských častí, rozľahlých priemyselných zón a malebných okrajových častí predstavuje jedinečný priestor na skúmanie integrácie technológie dronov. Táto práca sa zaoberá výzvami a možnými riešeniami pri hodnotení rizík v Žiline. Analyzuje obmedzenia vyplývajúce zo súčasných údajov, skúma hypotetické scenáre demonštrujúce hodnotu údajov s vyšším priestorovým rozhraním a podporuje vytvorenie príslušných riešení na odstránenie týchto nedostatkov v údajoch. Cieľom je vytvoriť rámec pre presnejšie modelovanie rizík v Žiline a podporiť budúcnosť, v ktorej bude možné bezpilotné lietadlá bezproblémovo a bezpečne integrovať do prevádzky mesta.

## 2. Metodika a metódy skúmania

Tento výskum sa zameriava na mesto Žilina na Slovensku, ktoré je primárnou prípadovou štúdiou pre vykonanie komplexného hodnotenia pozemných rizík pri prevádzke UAS.

Analýza zahŕňa rôznorodú mestskú štruktúru vrátane obytných oblastí, komerčných zón a priemyselných oblastí. V závislosti od dostupnosti údajov o využívaní územia by sa na konkrétne priemyselné zóny alebo určené okrajové časti mohlo zamerať viac pozornosti vzhľadom na ich potenciál ako letových úsekov s nižším rizikom.

Hlavným cieľom tohto prieskumu je identifikovať a analyzovať kľúčové faktory ovplyvňujúce priradenie tried pozemného rizika (GRC) v rámci Žiliny. GRC sú základným meradlom pri určovaní vhodných zmierňujúcich stratégií a prevádzkových obmedzení potrebných na zabezpečenie bezpečnej integrácie bezpilotných lietadiel do vzdušného priestoru mesta. Pochopenie vzájomného pôsobenia medzi charakteristikami pozemných oblastí a GRC má priamy vplyv na plánovanie trás, výber zmierňujúcich opatrení a celkovú realizovateľnosť rôznych aplikácií dronov.

S cieľom poskytnúť presný a štandardizovaný základ pre toto posúdenie pozemných rizík sa ako smerodajný teoretický model prijíma rámec špecifického posúdenia prevádzkových rizík (SORA). SORA poskytuje štruktúrovanú metodiku hodnotenia rizík spojených s prevádzkou dronov s osobitným dôrazom na potenciálny vplyv na ľudí a majetok na zemi.

Posúdenie pozemných rizík pre prevádzku UAS v „špecifickú“ kategórii v Žiline využíva ako základný návod rámec špecifického posúdenia prevádzkových rizík (SORA), ktorý vytvorila Agentúra Európskej únie pre bezpečnosť letectva (EASA). Obmedzenia verejne dostupných údajov si však vyžadujú hybridný metodický prístup, ktorý kombinuje

kvantitatívne techniky s kvalitatívnym hodnotením, aby sa vytvorilo prvotné chápanie pozemného rizika.

## 2.1. Postup získavania dát

Počiatková fáza tohto výskumu sa sústredila na získanie základných súborov údajov potrebných na vykonanie zmysluplnej analýzy rizík pre Žilinu. Rozhodujúce boli dva základné typy údajov:

Údaje o hustote obyvateľstva: Vzhľadom na to, že hustota obyvateľstva slúži ako hlavný faktor výpočtu triedy pozemného rizika (GRC) v rámci SORA, bolo venované značné úsilie získaniu čo najdetailnejších verejne dostupných údajov o hustote obyvateľstva. Prvotné otázky smerovali na Štatistický úrad SR, keďže je oficiálnym zdrojom demografických informácií na Slovensku. Nakoniec sa získali údaje o hustote obyvateľstva na úrovni okresov, ktoré predstavujú najlepšie dostupné rozlíšenie.

Mapy využitia územia: Na doplnenie údajov o hustote obyvateľstva a identifikáciu potenciálnych rozdielov v aktivitách na úrovni krajiny v rámci širších okresov boli vyhľadané podrobné mapy využitia pôdy. Prioritou boli oficiálne zdroje a na webovej stránke Žilinského samosprávneho kraja sa skúmali všetky verejne dostupné mapy, údaje GIS alebo územné plány. Okrem toho sa skúmala aj OpenStreetMap a Google Earth ako potenciálny zdroj aktuálnych informácií o využívaní územia.

## 2.2. Štatistická analýza

Získali sa a analyzovali údaje o hustote obyvateľstva na úrovni mestských a prímestských časti Žiliny, ktoré predstavujú najdetailnejší dostupný súbor údajov. Pre každú oblasť sa vypočítali kľúčové ukazovatele, ako napríklad hustota obyvateľstva ako primárneho kvantitatívneho ukazovateľa pre klasifikáciu do triedy pozemného rizika (GRC).

## 2.3. Kvalitatívna analýza

Pri absencii podrobných údajov o obyvateľstve bola kvalitatívna analýza dostupných máp a popisov využitia pôdy rozhodujúca pri rozlišovaní medzi zónami zaradenými do rovnakej všeobecnej kategórie. Napríklad rôzne priemyselné zóny sa interpretovali na základe ich pravdepodobnej úrovne činnosti, čo naznačuje rozdiely v riziku v rôznych častiach mesta.

## 2.4. Mapovanie GIS

Softvér GIS bol použitý na vytvorenie vizualizácií údajov o hustote obyvateľstva s mapami využitia pôdy získanými zo stránky Žilinského samosprávneho kraja. Táto geopriestorová analýza umožnila identifikovať potenciálne vysokorizikové koncentrácie v rámci širších častí Žiliny a poskytla informácie o predbežných hypotézach.

## 3. Výsledky

Táto štúdia sa zameriava na mesto Žilina na Slovensku ako reprezentatívne mestské prostredie na analýzu uskutočniteľnosti prevádzky UAS v osobitej kategórii z hľadiska pozemných rizík. Ako technologický základ pre túto analýzu bude slúžiť DJI Matrice 300 RTK, stredne veľký dron bežne používaný na komerčné účely.

Hodnotenie špecifických operačných rizík (SORA) poskytuje systematický prístup k hodnoteniu a zmierňovaniu pozemných rizík, ktoré predstavujú operácie dronov. Ústredným prvkom tohto procesu sú nasledujúce kľúčové koncepcie.

### 3.1. Počiatkové pozemné riziko (iGRC)

Výpočet počiatkovej triedy pozemného rizika dronu (iGRC) je základný rizikový faktor, ktorý sa určuje predovšetkým na základe potenciálu kinetickej energie alebo rýchlosti a charakteristických rozmerov (veľkosti) dronu. Tento výpočet sa riadi referenčnými tabuľkami SORA. Tabuľka je uvedená na obrázku č. 3. Napríklad dron DJI Matrice 300 RTK by na základe svojich špecifikácií pravdepodobne patril do rozsahu iGRC 5 - 6.

Tabuľka 1. Zhodnotenie pozemného rizika podľa rýchlosti a veľkosti UAV ku hustote obyvateľstva podľa SORA [23]

Trieda pozemného rizika GRC						
Maximálny rozmer	1m / approx. 3ft	3m / approx. 10ft	8m / approx. 25ft	20m / approx. 65ft	40m / approx. 130ft	
Maximálna rýchlosť	25 m/s	35 m/s	75 m/s	150 m/s	200 m/s	
Hustota obyvateľstva (osôb/km <sup>2</sup> )	Controlled ground area	1	2	3	4	5
	< 25	3	4	5	6	7
	< 250	4	5	6	7	8
	< 2,500	5	6	7	8	9
	< 25,000	6	7	8	9	10
	< 250,000	7	8	9	10	11
	> 250,000	7	9	Nie je súčasťou SORA		

### 3.2. Hustota obyvateľstva

Kombináciou sčítania obyvateľov a údajov o rozlohe pridruženej mestskej časti sa vypočítali približné odhady o hustote obyvateľstva (ľudia/km<sup>2</sup>) pre okresy ako Solinky, Vlčince, Závodie a ďalšie. Tým sa získali potrebné informácie pre všeobecnú kategorizáciu na zóny s vysokou, strednou a potenciálne nižšou hustotou.

Je nevyhnutné si uvedomiť obmedzenia vyplývajúce z dostupných údajov. Nedostatok údajov o hustote obyvateľstva v jemnej štruktúre (ideálne naj úrovni obytných blokov, ) bráni presnému určeniu GRC podľa metodiky SORA. Oblasti s nižšou hustotou obyvateľstva pravdepodobne existujú v rámci určitých častí mesta, ktoré sú zaradené do kategórie strednej alebo vysokej hustoty obyvateľstva, ale bez presnejších údajov ich nemožno presne určiť.

Predložená analýza poskytuje všeobecné posúdenie pozemných rizík v Žiline. Hoci je cenná pre určenie všeobecných zón uplatniteľnosti, nemôže nahradiť prepracovanejšiu analýzu SORA, ktorá využíva vysoko podrobné údaje o hustote obyvateľstva, podrobné mapy využitia pôdy, informácie o doprave a pohyboch ľudí počas dňa.

### 3.3. Stratégie zmierňovania

#### Návrh trasy

Strategické plánovanie trasy je základom znižovania rizika v prostredí s rôznou hustotou. Uprednostňovanie trás cez menej

obývané oblasti a priemyselné zóny minimalizuje potenciál ohrozenia a zranenie ľudí na zemi.

#### Obmedzenia v čase počas dňa

Prevádzka počas obdobia minimálnej aktivity (napr. skoro ráno alebo v noci) ďalej znižuje riziko, najmä v oblastiach so strednou hustotou obyvateľstva. Časové obmedzenia počas dňa sú často nevyhnutným nástrojom na zmiernenie následkov.

#### Zmenšenie kritickej plochy

Opatrenia, ako napríklad padákové systémy, môžu zmierniť závažnosť dopadu v prípade poruchy dronu. Vďaka použitiu padáku sa zmenší kritická plocha a tým je možné znížiť triedu GRC, najmä pri využití väčších dronov. Ich adekvátna úloha, najmä v zónach s vyššou hustotou osídlenia, sa stáva rozhodujúcou.

#### Dôsledná údržba

Prísne dodržiavanie protokolov údržby a predletových kontrol je nevyhnutné na minimalizáciu pravdepodobnosti porúch zariadenia a následných incidentov.

#### Využitie priestrešia

Potenciálne zníženie vplyvu pozemného ohrozenia a zníženie triedy GRC vďaka využitiu trasy ponad strechy a tým znížiť počet ľudí v plánovanej trase. V prípade nekontrolovaného pádu môžu blízke konštrukcie čiastočne absorbovať kinetickú energiu dronu, čo môže zmierniť závažnosť dopadu na osoby alebo majetok pod nimi.

### **3.4. Prehľad mesta**

Žilina, štvrté najväčšie mesto na Slovensku, sa nachádza v severozápadnej časti krajiny. Má približne 80 000 obyvateľov a leží v údolí obklopenom horskými oblasťami. Mestská oblasť Žiliny sa vyznačuje rôznou hustotou osídlenia, čo predstavuje zaujímavý testovací priestor na hodnotenie uskutočniteľnosti prevádzky dronov z hľadiska pozemných rizík. Medzi kľúčové prvky jej mestskej morfológie patria:

Husto osídlené centrum mesta a mestské časti ako Solinky, Hliny a Staré Mesto predstavujú husto obývané oblasti s koncentráciou obytných a obchodných budov.

Ďalšie mestské časti alebo prímestské časti ako Vlčince a Bytča vykazujú rôznu hustotu zástavby s kombináciou rodinných domov, bytových komplexov a potenciálnych zelených plôch.

Priemyselné oblasti v rámci Žiliny a v okolí zahŕňajú priemyselné a obchodné zóny, ktoré potenciálne ponúkajú aj úseky s nižšou hustotou vhodné na prevádzku dronov.

Primárnym zdrojom údajov pre túto analýzu je Štatistický úrad SR a oficiálna webová stránka mesta Žilina, ktoré poskytli počty obyvateľov pre správne časti mesta Žilina. Tieto zdroje informácií poskytli údaje o počte obyvateľov, rozdelenie mesta do častí, rozloha týchto častí, ale aj hustote obyvateľstva. Využitý bol aj mapový systém GIS mesta Žilina.

Vzhľadom na nedostatok údajov o hustote obyvateľstva, v niektorých častiach, bolo nutné tento údaj dopočítavať na základe určenia rozlohy z máp. Nedostatok verejne dostupných informácií v jemnej štruktúre (ideálne na úrovni obytných

blokov) bráni presnému určeniu GRC podľa metodiky SORA. Z dôvodu presnejšieho výpočtu boli použité ako uverejnené štatistické údaje mesta aj mapové systémy.

### **3.5. Stanovenie pozemného rizika (GRC)**

Na základe nájdených údajov na stránkach mesta a využitiu systému GIS mesta Žilina bolo možné určiť hustotu obyvateľstva pre každú časť mesta. Následne bolo možné podľa tabuľky pre určenie pozemného rizika, v rámci metodiky SORA, určiť pre každú časť mesta príslušné pozemné riziko GRC. Tieto hodnoty sú uvedené v tabuľke. Hodnotenie pozemných rizík mesta Žilina je tiež vyobrazené na mape na obrázku.



Obrázok 1. Zhodnotenie a zobrazenie jednotlivých častí mesta Žilina s priradeným pozemným rizikom GRC [25]

### **3.6. Husto osídlené oblasti**

Základné GRC pre sídliska ako Solinky a Hliny budú pravdepodobne začínať so základným GRC 7 alebo dokonca 8 vzhľadom na ich mimoriadne vysokú hustotu obyvateľstva.

Mestské časti Hájik, Hliny, Solinky, Staré Mesto, Vlčince a Bôrik tvoria jadro Žiliny a vykazujú najvyššiu hustotu obyvateľstva. Prevládajúca hodnota GRC 7 v tomto regióne zdôrazňuje potrebu mimoriadnej opatrnosti pri plánovaní trasy dronov. Hoci tieto oblasti nesporne predstavujú najväčšie pozemné riziko.

V rámci tohto mestského jadra je kombinácia využitia pozemkov pravdepodobne rôznorodá a môže zahŕňať obytné štvrte, rušné obchodné oblasti a dokonca aj zóny ľahkého priemyslu. Bez podrobných máp využitia územia a detailných údajov o hustote obyvateľstva je prakticky nemožné s istotou vymedziť bezpečné letové koridory. Strategické plánovanie letov však môže byť stále možné, a to zameraním sa na také prvky, ako sú parky, rozsiahle otvorené priestranstvá alebo menej obývané okrajové časti týchto rizikových oblastí.

Aj pri ideálnych trasách obmedzených na parky a málo frekventované ulice môže dosiahnuté zníženie GRC stále zachovať centrum mesta vo vysoko rizikovej kategórii (GRC 6 alebo viac). Okrem toho sa na Solinkách a Hlinách nachádza niekoľko veľmi frekventovaných prieschodov pre chodcov vrátane križovatky ulíc Obvodová - Centrálna, križovatky ul. Komenského - ul. Mostná - ul. Lichardová a križovatky ul. Hlinská - ul. Nešporová - ul. Saleziánska. To naznačuje, že ani najoptimistickejší návrh trasy nemusí byť schopný dostatočne

znižiť GRC, čo má za následok naďalej vysoko rizikovú kategorizáciu (GRC 6 alebo viac).

Efekt ochranného prístrešia by mohol zohrávať určitú úlohu v husto zastavaných oblastiach v centre mesta. Hoci zmiernenie stupňa pozemného rizika je prospešné, prevládajúca vysoká hustota obyvateľstva stále vedie k vysokej počiatkovej hodnote GRC, ktorá sa nemusí dostatočne znížiť.

Opatrenia, ako sú napríklad pozorovatelia, sa ťažšie účinne používajú v husto osídlených mestských oblastiach z dôvodu obmedzení priamej viditeľnosti. Takéto opatrenie by mohlo ešte viac zvýšiť náklady a znížiť využiteľnosť trás v centrách miest.

### 3.7. Menej husto obývané mestské a prímestské časti

Základné GRC pre stredne husté mestské časti ako Vlčince pravdepodobne začínajú s GRC 5 alebo 6. Je však pravdepodobné, že aj v rámci jednej mestskej časti budú značné rozdiely. Prítomnosť frekventovaných priechodov pre chodcov, ako napríklad na Kysuckej a Košickej ulici, v niektorých z týchto oblastí strednej hustoty odhaľuje prirodzenú premenlivosť. Hoci pozdĺž niektorých úsekov môžu existovať potenciálne menej rizikové trasy preletov, presná identifikácia týchto konkrétnych trás si vyžaduje podrobnejšie údaje o obyvateľstve.

Oblasti s prideleným GRC 6, ako sú Bytčica, Považský Chlmec, Trnové, Závodie a Hliny V, ponúkajú potenciálnu prechodnú zónu pre prevádzku dronov. Celková hustota obyvateľstva je nižšia ako v mestskom jadre. Veľké obytné oblasti v rámci týchto štvrtí by mohli ponúkať trasy s nižším rizikovým profilom, zatiaľ čo zóny so zmiešanou komerčnou a priemyselnou činnosťou by si vyžadovali konzervatívnejšie stratégie zmiernenia rizík. Je veľmi pravdepodobné, že aj v rámci týchto okresov so stredným rizikom sa skrýva nestálosť - ohniská s neočakávané vysokou hustotou obyvateľstva alebo pešieho pohybu.

Odľahlejšie časti ako Bánová, Brodno, Mojšová Lúčka, Zástranie a Zádubnie poskytujú nádej na menej obmedzené operácie dronov vzhľadom na ich všeobecne nízku hustotu obyvateľstva. K priradeniu GRC 5 je však potrebné pristupovať opatrne. Rekreačné oblasti alebo významné miesta môžu priťahovať sezónne davu ľudí, čo náš súčasný súbor údajov nezohľadňuje a mohli by výrazne zvýšiť pozemné riziko.

Pre zmiernujúci vplyv je dôležitý starostlivý návrh trasy tak, aby sa využili najmenej zastavané okraje týchto oblastí. V niektorých úsekoch by sa mohli dosiahnuť GRC potenciálne 3 - 4, najmä v kombinácii s časovými obmedzeniami počas dňa za účelom ďalšieho zníženia.

Pri dôkladnom navrhovaní trasy v prímestských oblastiach by sa mohol strategickejšie využiť vplyv ochranných prístreškov. Lietanie ponad budovy, pozdĺž menej obývaných ulíc alebo v blízkosti budov by mohlo priniesť určité výhody v oblasti zmiernenia pozemných rizík a to najmä pri využití paralelných letových tras voči uliciam, kde sa môže vyskytovať väčšie množstvo ľudí.

Kľúčom k prímestským trasám je to, že niektoré z nich majú potenciál pre prijateľné GRC, ale ich konkrétna identifikácia si vyžaduje veľmi podrobné údaje alebo miestne znalosti.

### 3.8. Priemyselné oblasti

Priemyselné a obchodné zóny majú často nižšiu hustotu obyvateľstva, čo môže viesť k základným GRC v rozsahu 4-5. Bez podrobných máp využitia územia a údajov o hustote obyvateľstva však nemôžeme s istotou určiť rozsah a umiestnenie skutočne nízkorizikových zón v priemyselných oblastiach. V rámci širšieho priemyselného územia sa môžu nachádzať koncentrované oblasti s vyššou koncentráciou obyvateľstva alebo nevyužitá plocha, ktorá je zakrytá v rámci širšieho priemyselného priestoru.

Strategické vedenie trasy môže spôsobiť, že GRC budú v určitých oblastiach ešte nižšie. Menej náročné zmiernenia by mohli byť dostatočné, čím by sa prevádzka týchto trás mohla stať výhodnejšou z rôznych hľadísk.

V závislosti od konkrétnej priemyselnej oblasti môže byť účinok prístreška užitočný v okolí skladov, továrni alebo pozdĺž terénnych prvkov voči cestám, alebo uliciam s hustým výskytom ľudí.

Presné posúdenie rizika v priemyselných zónach si vyžaduje komplexné pochopenie činností, infraštruktúry a potenciálnych rizík v každej oblasti. Táto analýza sa bude zaoberať špecifickými charakteristikami žilinských priemyselných zón a ich dôsledkami pre prevádzku dronov. Všetky priemyselné oblasti su označené na obrázku.

Žilinská teplárenská – tepláreň predstavuje mierne pozemné riziko vzhľadom na kombináciu prevádzkových strojov, skladovacích nádrží a súvisiacej infraštruktúry. Prítomnosť ťažkých vozidiel a možnosť úniku pár alebo plynu si vyžaduje opatrné plánovanie letu a stratégie na zmiernenie následkov. [26]

Považské chemické závody (PCHZ) - bývalý chemický komplex PCHZ, ktorý je v súčasnosti sídlom rôznych podnikov, je dôvodom na klasifikáciu vysokého pozemného rizika. Pozostatky chemickej výroby a potenciálna prítomnosť nebezpečných materiálov predstavujú významné riziko pre prevádzku dronov. [26]

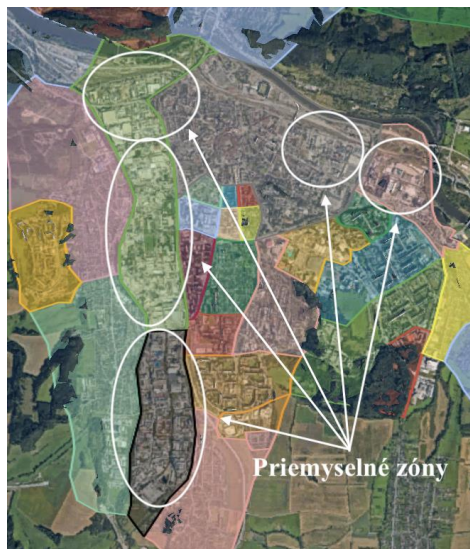
Západné Priemyselné Pásmo - zahŕňa rôzne podniky, čo si vyžaduje posúdenie rizík pre každú prevádzku dronov na konkrétnom mieste. Prítomnosť ťažkých strojov, skladovacích zariadení a potenciálne nebezpečných materiálov si vyžaduje obozretný postup. [26]

Východné Priemyselné Pásmo - predstavuje podobné rizikové úvahy ako Západné Priemyselné Pásmo. Rôznorodá zmes podnikov a súvisiacich činností si vyžaduje podrobné hodnotenie rizík. [26]

Metsä Tissue - papierenský podnik, spadá do klasifikácie mierneho pozemného rizika. Prítomnosť ťažkých strojov, skladovacích priestorov a potenciálny výskyt papierového prachu alebo úlomkov si vyžaduje starostlivé plánovanie letov a stratégie na zmiernenie rizík. [26]

Slovena Žilina - bývalý závod na spracovanie kaučuku, v súčasnosti priemyselná oblasť so zmiešaným využitím, si vyžaduje posúdenie rizika špecifického pre danú lokalitu pre každú prevádzku. [26]

ZVL Žilina - strojársky podnik, predstavuje mierne pozemné riziko vzhľadom na ťažké stroje, výrobné procesy a skladovacie priestory. [26]



Obrázok 2. Priemyselné zóny v Žiline [25]

### 3.9. Vyhodnotenie výsledkov

Vyhodnotenie tohto posúdenia pozemných rizík pre prevádzku dronov v Žiline vykresľuje obraz bohatý na možnosti, ktoré zároveň obmedzuje rozhodujúci nedostatok údajov. Hoci analýza úspešne vytvorila rámec na kategorizáciu trás a preskúmanie potenciálnych stratégií na zmiernenie dôsledkov, premietnutie týchto koncepcií do prevádzkovej reality závisí od poskytnutia podstatných chýbajúcich a presnejších údajov.

Aj keď je spoliehanie sa na všeobecné modely využitia územia (centrum mesta, predmestie, okrajové časti) obmedzené verejnými aktuálne dostupnými údajmi, jeho sila spočíva v intuitívnom koncepčnom chápaní prostredia a pozemných rizík v Žiline. Kategorizácia trás týmto spôsobom stanovuje prirodzené rozdiely v rizikových profiloch medzi týmito modelmi územia - mestské oblasti predstavujú najvyššie riziko, okrajové časti naznačujú potenciálne nízkorizikové trasy - aj keď presná identifikácia rizika je v tomto štádiu neistá. Tento rámec má zásadný význam, keď budú k dispozícii podrobnejšie údaje, pretože poskytujú štruktúru na použitie kvalitnejších údajov na spresnenie plánovania trás a stratégií zmiernenia rizík.

Preskúmanie potenciálnych stratégií zmiernenia rizík, dokonca aj v hypotetickom kontexte, poukazuje na mnohostranný prístup potrebný na zodpovedné riadenie rizík spojených s dronmi. Tým, že sa popri fyzických opatreniach, ako sú pozorovatelia a núdzové pristávacie zóny, aj o časové obmedzenia, sa v tejto analýze zdôrazňuje, že neexistuje jednotné riešenie zmiernenia. Namiesto toho si výsledný prevádzkový plán bude vyžadovať diferencovaný, na mieru šitý postup pri výbere zmiernujúcich opatrení, ktoré budú zodpovedať špecifickým, údajmi podloženým rizikám na každej trase.

Pochopenie potenciálnych výhod prístreškov v určitých situáciách, aj bez možnosti jeho presného modelovania, je kľúčové z dvoch hľadísk. Po prvé, preukazuje to komplexné pochopenie rizikových faktorov a potenciálnych techník

zmiernovania rizík relevantných pre operácie dronov. Po druhé, zdôrazňuje vplyv chýbajúcich údajov. Čím podrobnejšie je chápanie infraštruktúry mesta Žilina (výška budov, voľné priestranstvá, ulice a cesty), tým väčšia je schopnosť nielen identifikovať potenciálne rizikové zóny, ale aj oblasti, kde prístrešie toto riziko výrazne znižuje.

Tieto tvrdenia však existujú prevažne v teoretickej rovine vzhľadom na súčasné limitované údaje. Tento systém síce existuje, ale jeho jednotlivé oblasti nie sú dostatočne známe a definované. Stratégie na zmiernenie dopadov sa považujú za dôležité, ale ich účinnosť a pomer nákladov a prínosov v konkrétnych scenároch sa nedá presne posúdiť.

Táto iniciálna analýza teda slúži ako presvedčivý argument pre významnú hodnotu údajov. Uvedené informácie ukazujú potenciál na vypracovanie spoľahlivého, praktického a bezpečného prevádzkového plánu dronov pre Žilinu - uvoľnenie tohto potenciálu však plne závisí od aktualizácie východiskových zdrojov údajov.

Stránky načrtnuté v tejto analýze ukazujú, že ide o prvý nevyhnutný krok pri akomkoľvek komplexnom uplatňovaní teoretických konceptov v reálnom svete. Navrhnuté hypotetické trasy, skúmanie stratégií zmiernenia a využitie trás nad budovami predstavujú transformáciu teórie posudzovania rizík do podoby použiteľnej v špecifickom mestskom kontexte Žiliny. Tieto základné prvky však zostávajú do určitej miery abstraktné; ich premietnutie do prevádzkových riešení, ako je výber konkrétnej trasy a realizácia zmiernujúcich opatrení, je v súčasnosti presne nešpecifikovaná.

Získaním podrobných údajov o hustote obyvateľstva, podrobných máp využitia územia a presnejších informáciách o pohybe obyvateľstva, ktoré sú považované za nevyhnutné, môže Žilina premeniť tieto teoretické poznatky na praktické. Kategorizačný rámec sa bude ďalej rozvíjať od všeobecných kategórií k presne určeným úsekom trás s spoľahlivo priradenými GRC. Stratégie zmiernenia môžu prejsť od hypotetických diskusií k plánom prispôbeným na mieru, s časovými obmedzeniami počas dňa presne určenými pre oblasti s overiteľným vysokým pohybom chodcov a rozmiestnením pozorovateľov na základe potvrdených rizík, a nie najhorších predpokladov.

Rozhodujúcim prepojením medzi teóriou a bezpečnou a účinnou praxou sú spoľahlivé údaje. Táto analýza zdôrazňuje toto prepojenie a pripravuje základy pre úspešný proces, keď sa podarí zlepšiť údajovú oblasť.

Toto zameranie na dôležitú úlohu údajov pri praktickom vykonávaní prevádzkových činností dronov je v súlade s novými tendenciami v literatúre o hodnotení rizík dronov v celosvetovom meradle. Štúdie a diskusie o regulácii čoraz častejšie zdôrazňujú potrebu lokalizovaných, kontextovo špecifických hodnotení, ktoré presahujú všeobecné predpoklady. Agentúra Európskej únie pre bezpečnosť letectva (EASA) vo svojom usmernení k metodikám SORA (Specific Operations Risk Assessment) zdôrazňuje dôležitosť prispôsobenia hodnotenia rizík špecifikám prevádzky a miestneho prostredia.

Zameranie Žiliny na budovanie modelu hodnotenia rizík na základe údajov o pozemnej prevádzke ju stavia do pozície, ktorá jej umožňuje nielen splniť regulačné požiadavky, ale stať sa

potenciálnym prispievateľom k osvedčeným postupom v oblasti bezpečnej, na údajoch založenej integrácie dronov v mestskom prostredí.

### 3.10. Návrh riešenia

Súčasný údaj o hustote obyvateľstva na úrovni sídlisk, alebo oblastí v kombinácii s mapami využitia územia výrazne obmedzujú presné posúdenie pozemných rizík pre prevádzku dronov v Žiline. Nemôžeme s istotou určiť nízkorizikové letové trasy, ktoré by mohli byť v budúcnosti využívané na prevádzku dronov. Bez podrobných údajov je výber najvhodnejších a nákladovo najefektívnejších stratégií zmiernenia zložitý, čo môže viesť k nadmernému obmedzovaniu. Nedostatok konkrétnych údajov môže oslabiť dôveru v bezpečnosť navrhovaných operácií dronov, čo komplikuje schvaľovací proces.

Pre správnu analýzu sa musia prioritne zaobstarať presné údaje, aby bolo možné správne určiť pozemné riziká. Zaobstaranie údajov o hustote obyvateľstva na čo najdetailnejšej úrovni a využití priemyselných území.

Dôležité sú aj informácie o ďalších súboroch údajov alebo historických záznamoch, ktoré by mohli byť podkladom pre hodnotenie pozemného rizika (napr. sezónne výkyvy obyvateľstva, vzorce pohybu chodcov alebo udalosti s veľkými zhromaždeniami ľudí).

Hoci získanie takýchto súborov informácií a následná spresnená analýza predstavujú významný technický úspech, úplná realizácia bezpečnej a užitočnej prevádzky dronov v Žiline si vyžaduje mnohostranný implementačný prístup. Ten zahŕňa transformáciu teoretických poznatkov z analýzy do štruktúrovaného prevádzkového plánu, ktorý zabezpečí rovnováhu medzi bezpečnosťou, efektívnosťou, dodržiavaním právnych predpisov a pochopením zo strany obyvateľstva.

Základom realizačného plánu je vytvorenie základnej siete trás bezpilotných lietadiel. Trasy budú rozdelené do kategórií podľa presne navrhnutých GRC na základe údajov o hustote osídlenia a využívaní územia. Trasy budú navrhnuté tak, aby podľa možnosti prioritne prechádzali zónami s nízkou hustotou osídlenia, jednotlivými priemyselnými oblasťami, ktoré sa považujú za primerané (napr. sklady s nízkou aktivitou), a ďalšími trasami, v ktorých sa dá s istotou využiť ochranné prístrešie. Súčasťou plánu je aj proces úprav trasy, ktorý je súčasťou údajov v reálnom čase o prechodných zmenách rizikových faktorov v danej oblasti (napr. festivaly, stavebné zóny, nepriaznivé počasie).

Každá trasa alebo konkrétne úseky v rámci trasy budú mať prispôsobený plán zmiernenia, ktorý bude vychádzať z možností uvedených v metodike SORA.

Spresnenie založené na údajoch umožňuje rôznorodé uplatňovanie zmiernujúcich opatrení. V mnohých prípadoch môžu postačovať časové obmedzenia počas dňa, zatiaľ čo vytyčovanie pozorovacích alebo núdzových pristávacích zón je vyhradené pre oblasti s najvyššou trvalo vysokou hodnotou pozemných rizík GRC.

Tento prístup optimalizuje bezpečnosť a zároveň zabezpečuje, aby zmiernujúce opatrenia zostali primerané skutočnému

rizikovému profilu, čím sa podporuje prevádzková efektívnosť a nákladová hospodárnosť.

Metodika podložená údajmi, návrhy trás a zodpovedajúce zmiernujúce postupy budú komplexne a transparentne predložené príslušným regulačným orgánom (napr. Dopravnému úradu SR).

Tento proaktívny prístup podtrhuje snahu o bezpečnosť a dodržiavanie usmernení SORA. Cieľom je podporiť spoluprácu a zefektívniť schvaľovacie procesy, keďže plán založený na údajoch neodmysliteľne rieši hlavné regulačné problémy.

Predpokladom úspešného dlhodobého fungovania je akceptácia operácií bezpilotných lietadiel zo strany verejnosti. Komunikačná stratégia zameraná na verejnosť vysvetlí prísny prístup založený na rizikách a podrobne opíše zavedené bezpečnostné opatrenia.

To môže zahŕňať interaktívne online mapy, na ktorých si občania môžu vizualizovať schválené trasy alebo dostávať oznámenia o plánovaných letových činnostiach, čo podporuje predvídateľnosť a zvyšuje dôveryhodnosť.

### Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu 313011ATR9 "Výskum a vývoj využiteľnosti autonómnych lietajúcich prostriedkov v boji proti pandémie spôsobenej COVID-19".

### 4. Záver

Táto diplomová práca sa zaoberala komplexnou analýzou prevádzky a hodnotením pozemných rizík v kontexte prevádzky bezpilotných lietadiel (UAS) v meste Žilina. Práca sa opiera o osvedčenú metodiku SORA (Specific Operations Risk Assessment) a zohľadňovala dostupné dáta o hustote obyvateľstva a mapy mesta.

Výsledky analýzy preukázali, že prevádzka UAS v Žiline je spojená s rôznymi stupňami pozemných rizík, ktoré sa líšia v závislosti od lokality a typu prevádzky. Husto osídlené centrum mesta predstavuje najvyššie riziko, zatiaľ čo okrajové časti a priemyselné zóny ponúkajú potenciál pre prevádzku s nižším rizikom.

Práca zdôraznila dôležitosť komplexného prístupu k riadeniu rizík. Zodpovedná prevádzka UAS si vyžaduje komplexný prístup k riadeniu rizík, ktorý zahŕňa precízne plánovanie trás, implementáciu stratégií na zmiernenie rizík, využívanie dostupných údajov a úzku spoluprácu s miestnymi orgánmi. Implementovaním navrhovaných opatrení a stratégií môže pomôcť minimalizovať riziká spojené s prevádzkou UAS a prispieť k bezpečnej a zodpovednej integrácii UAS do mestského prostredia.

Ďalší výskum by sa mal zamerať na získavanie a analýzu podrobných údajov o rizikách, vývoj a testovanie stratégií na zmiernenie rizík a vypracovanie zjednodušeného prístupu UAS v osobitej kategórii pre prevádzku v mestách.

Preto je dôležité, aby piloti UAS dodržiavali všetky platné predpisy a nariadenia a zároveň implementovali odporúčané postupy riadenia rizík. Týmto spôsobom môže prevádzka UAS

prinesť mestám a ich obyvateľom značné benefity, a to bez toho, aby ohrozila bezpečnosť ľudí a majetku. • Takáto prevádzka môže mať pozitívny vplyv na rôzne oblasti mestského života, ako napríklad monitoring infraštruktúry, doručovanie tovaru a letecké snímkovanie. Taktiež dôležitou súčasťou je zvyšovanie povedomia o prevádzke UAS medzi verejnosťou a vybudovať dôveru v túto technológiu.

## Referencie

- [1] BAE SYSTEMS. What are Unmanned Aerial Systems? Online. BAE Systems. Dostupné z: <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-are-unmanned-aerial-systems>. [cit. 2024-05-01].
- [2] SKYBRARY. Unmanned Aerial Systems (UAS). Online. BAE Systems. Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/unmanned-aerial-systems-uas>. [cit. 2024-05-01].
- [3] PRO-DRONY . Inšpekcia v poľnohospodárstve. Online. PRO-DRONY . Dostupné z: <https://www.pro-drony.sk/aplikacie/inspekcia-v-polnohospodarstve/>. [cit. 2024-05-01]
- [4] VYKONÁVACIE NARIADENIE KOMISIE (EÚ) 2019/947. In: . 2019. 5. PRO-DRONY. Inšpekcia v stavebníctve. Online. PRO-DRONY. Dostupné z: <https://www.pro-drony.sk/aplikacie/inspekcia-v-stavebnictve/>. [cit. 2024-05-01].
- [5] SKYDIO. How Drones Are Used for Search and Rescue. Online. Skydio. 2023. Dostupné z: <https://www.skydio.com/blog/how-to-use-drones-for-search-and-rescue>. [cit. 2024-05-01].
- [6] M. Elloumi, R. Dhaou, B. Escrig, H. Idoudi and L. A. Saidane, "Monitoring road traffic with a UAV-based system," 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona, Spain, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/WCNC.2018.8377077. [cit. 2024-05-01].
- [7] ASOCIÁCIA MÁM DRON. Drony na železničiach - príklad použitia. Online. Mamdron. Dostupné z: <https://mamdron.sk/drony-na-zelezniciach-priklad-pouzitia/>
- [8] SHERR, Ian. UPS, Amazon delivery drones a step closer to reality with new US rules. Online. In: CNET. 2020. Dostupné z: [https://www.cnet.com/news/politics/ups-amazon-delivery-drones-a-step-closer-to-reality-with-new-us-rules/#google\\_vignette](https://www.cnet.com/news/politics/ups-amazon-delivery-drones-a-step-closer-to-reality-with-new-us-rules/#google_vignette). [cit. 2024-05-01].
- [9] OPOISTENÍ. Drony na vzostupe. Pomáhajú aj v poisťovníctve. Online. OPOISTENÍ. Dostupné z: <https://www.opoistenie.sk/technologie/drony-na-vzostupe-pomahaju-aj-v-poistovnictve/c:12532/>. [cit. 2024-05-01].
- [10] M. Bugaj, A. Novák, A. Stelmach and T. Lusiak, "Unmanned Aerial Vehicles and Their Use for Aircraft Inspection," 2020 New Trends in Civil Aviation (NTCA), Prague, Czech Republic, 2020, pp. 45-50, doi: 10.23919/NTCA50409.2020.9290929.
- [11] ENERGETICKÝ KLASTER PREŠOVSKÉHO KRAJA. Termografické kontroly ako letecké práce. Online. Energetický klaster Prešovského kraja. Dostupné z: <https://ekpk.sk/energeticka-efektivnost/termograficke-kontroly-ako-letecke-prace/>
- [12] NEX, Francesco; REMONDINO, Fabio. UAV for 3D mapping applications: a review. Applied geomatics, 2014, 6: 1-15.
- [13] DRONE DELIVERY CANADA. Drone Logistics in Airports. Online. Drone Delivery Canada. Dostupné z: <https://dronedeliverycanada.com/applications/airport/>. [cit. 2024-05-01].
- [14] EASA. Specific Operations Risk Assessment (SORA). Online. EASA. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/specific-operations-risk-assessment-sora>. [cit. 2024-05-01].
- [15] EUDRONEPORT. STS-01 Standard Scenario. Online. EUDRONEPORT. Dostupné z: <https://eudroneport.com/blog/sts-01-standard-scenarios/>. [cit. 2024-05-01].
- [16] EUDRONEPORT. Standard Scenario STS-02. Online. EUDRONEPORT. Dostupné z: <https://eudroneport.com/news/sts-02-standard-scenarios-2/>. [cit. 2024-05-01]
- [17] UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS DEPARTMENT OF CIVIL AVIATION CYPRUS. SORA Risk Assessment. Online. GOV . Dostupné z: <https://drones.gov.cy/sora-risk-assessment/>. [cit. 2024-05-01].
- [18] EUDRONEPORT. SORA Methodology. Online. EUDRONEPORT. Dostupné z: <https://eudroneport.com/blog/sora-methodology/>. [cit. 2024-05-01].
- [19] DRONETALKS. A guide to the Specific Operations Risk Assessment. Online. DRONETALKS. Dostupné z: <https://dronetalks.online/blog/the-basics-of-sora/>. [cit. 2024-05-01].
- [20] EASA. Specific Category - Civil Drones. Online. EASA. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones>. [cit. 2024-05-01].
- [21] EASA. Predefined Risk Assessment (PDRA). Online. EASA. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas/specific-category-civil-drones/predefined-risk-assessment-pdra>. [cit. 2024-05-01].
- [22] EUDRONEPORT. SORA 2.5 Methodology — Specific Operation Risk Assessment. Online. EUDRONEPORT. Dostupné z: <https://eudroneport.com/blog/sora-2-5/>. [cit. 2024-05-01].
- [23] ŽILINA. Štatistika – počet obyvateľov Žiliny a prímestských častí k 31.12.2023. Online. ŽILINA. Dostupné z: <https://zilina.sk/oznamy-mesta/statistika-pocet-obyvateľov-ziliny-a-prímestských-častí-k-31-12-2023/>. [cit. 2024-05-01]

- [25] GOOGLE. Mestské časti Žiliny. Online. Googlemaps. Dostupné z: [https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZJH8aqpErGZWB3n5L61Yun2cGAw&hl=en\\_US&ll=49.224075488088836%2C18.75620482070009&z=10](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1ZJH8aqpErGZWB3n5L61Yun2cGAw&hl=en_US&ll=49.224075488088836%2C18.75620482070009&z=10). [cit. 2024-05-01].
- [26] REALITNÉ SLUŽBY. Priemyselné parky. Online. RED. Dostupné z: <https://www.red.sk/priemysel/3499/priemyselne-parky>. [cit. 2024-05-01].