



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav letecké dopravy

**Bezpečnost OAT letů vrtulníků s ohledem na provoz UAV**  
**Safety of OAT Helicopter Flights With Respect to UAV**

**Bakalářská práce**

Studijní program: **Technika a technologie v dopravě a spojích**

Studijní obor: **Letecká doprava**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**

**Mgr. Bc. Miroslav Hovorka**

---

**Jan Pokorný**

Praha 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621.....Ústav letecké dopravy**

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Jan Pokorný**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**bakalářský – LED – Letecká doprava**

Název tématu (česky): **Bezpečnost OAT letů vrtulníků s ohledem na provoz UAV**

Název tématu (anglicky): Safety of OAT Helicopter Flights with Respect to UAV

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Cílem práce je stanovit opatření pro zajištění bezpečnosti OAT letů vrtulníků v nízkých a přízemních výškách ve vztahu k provozu UAV.
- Specifika letů vrtulníků v třídě vzdušného prostoru G a provoz UAV.
- Systémový přístup k bezpečnosti a metoda STPA.
- Analýza nebezpečí OAT provozu vrtulníků v nízkých a přízemních výškách.
- Návrh opatření pro zajištění bezpečnosti OAT letů vrtulníků v nízkých a přízemních výškách s ohledem na provoz UAV.
- Validace navržených řešení.



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího závěrečné práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: L 2  
Let 1-6/L 2 (leden 2022) – (neutajované)  
Osnova letového výcviku vojenských vrtulníků (neutajované)  
EDA - Military and U-Space guidelines - final-report v1-0 (January 2022, unclassified)

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jakub Hospodka, Ph.D.**  
**Mgr. Bc. Miroslav Hovorka**

Datum zadání bakalářské práce: **7. října 2022**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce: **7. srpna 2023**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

doc. Ing. Jakub Kraus, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu letecké dopravy



prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Jan Pokorný  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 7. října 2022



## **ABSTRAKT**

Současná legislativa provozu UAV umožňuje jejich provoz ve stejném prostoru, který je využíván státem provozovanými lety vrtulníků a záchrannými složkami. Let bezposádkového prostředku kontrolovaný pilotem z pozice ze země nezapadá plnohodnotně do konceptu pravidel o vyhýbání. Pro piloty posádkou obsazených letadel a vrtulníků se UAV stává neviditelným a vstup do společného prostoru méně bezpečným.

Zaměření této práce je poskytnutí uceleného pohledu na problematiku společného provozu bezpilotních prostředků a státem provozovaných letů vrtulníků, identifikace nebezpečných scénářů s využitím nástrojů systémové analýzy, které vychází z veřejně přístupných dat a následně navržení opatření, která by mohla takovým situacím předcházet.

Výsledky analýzy porovnává s již publikovanými studiemi a navrhaná opatření validuje pomocí kontrolních letů dronu v různých podmínkách.

**Klíčová slova:** bezpečnost letů, bezpilotní prostředek, dron, koordinace, státní lety vrtulníků



## **ABSTRACT**

Similar parts of the airspace designated by current legislation for unmanned aircraft's operations are in common to the state operated helicopters so as air medical services. A flight of an unmanned aerial vehicle controlled from the surface is not entirely compatible with a concept of the "See & Avoid" procedure. The UAV becomes invisible for crew-operated helicopters and sharing the same airspace significantly reduces safety of the manned flight.

Focus of this Paper is to provide coherent view on the problematics of combined UAV operations with state-operated helicopter operations, to identify dangerous scenarios using system-analysis tools based on accessible data and to propose safety measures which could be able to prevent such occurrences.

Results of the system analysis are compared with other sources dealing with similar problematics. Several UAV test flights are held in various conditions to support and validate proposed safety measures.

**Keywords:** coordination, drone, safety, state-operated helicopter, unmanned aircraft



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat doc. Ing. Jakubovi Hospodkovi, Ph.D. a kpt. Mgr. Bc. Miroslavu Hovorkovi za vedení práce a pomoc se zvládnutím tématu. Děkuji také doc. Ing. Andreji Lališovi, Ph.D. za jeho cenné rady a trpělivost při konzultacích. Za ochotu a skvělé letové výkony děkuji Ing. Vilému Kratochvílovi. Závěrem pak chci vyjádřit vděčnost za neutuchající podporu a trpělivost manželky Lucie a rodiny, bez které bych se během mého studia neobešel.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Bezpečnost OAT letů vrtulníků s ohledem na provoz UAV“ vypracoval/a samostatně a použil k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Praze dne 7. července 2023.....

*Podpis*



## Obsah

Úvod .....	12
<b>1 PŘEHLED POZNATKŮ .....</b>	<b>13</b>
1.1 Zavedení provozu bezpilotních prostředků do vzdušného prostoru ČR .....	13
1.1.1 Kategorie UAS .....	13
1.2 LKR10 – UAS .....	14
1.3 Letový provoz GAT .....	16
1.3.1 Lety GAT pod 150 m nad terénem .....	16
1.4 Lety OAT .....	17
1.4.1 Organizace vojenských letů .....	17
1.4.2 Letištní let .....	17
1.4.3 Traťový let / přelet .....	18
1.4.4 Činnost v pracovních prostorech TSA .....	18
1.4.5 Lety OAT pod 150 m nad terénem .....	19
1.5 Shrnutí druhé kapitoly .....	20
<b>2 Problematika smíšeného provozu UAS a vrtulníků v malých a přízemních výškách .....</b>	<b>21</b>
2.1 Připomínky odborné veřejnosti .....	21
2.2 Dosavadní opatření pro zvýšení bezpečnosti smíšeného provozu .....	22
2.2.1 Podpora řízení letiště při incidentu s drony .....	22
2.2.2 Geo – Funkce .....	23
2.2.3 Remote – ID .....	23
2.3 Statistická data incidentů a nehod UAS .....	23
2.4 Malá motivace uživatelů znát a řídit se pravidly pro drony .....	26
2.5 Registrace pilota/provozovatele .....	27
2.6 Kolize dronů a posádkou obsazených letadel .....	27
2.6.1 Nebezpečné sblížení letounu A319 a neznámého dronu (2018, Zürich, Švýcarsko) .....	27
2.6.2 Kolize DJI Spark / Guimbal Cabri G2 (2018, Locarno, Švýcarsko) .....	28
2.7 Kritické faktory ovlivňující úroveň bezpečnosti provozu dronů a letadel .....	30
2.7.1 Rozpoznání dronu posádkou za letu .....	30





2.7.2	Provoz dronu VLOS.....	30
2.8	Následky způsobené kolizí.....	31
2.8.1	Drone Impact Model .....	31
2.8.2	Reálné dopady kolize .....	31
2.9	Shrnutí třetí kapitoly .....	32
<b>3</b>	<b>Systémový přístup k bezpečnosti a metoda STPA.....</b>	<b>33</b>
3.1	Systémová teorie a model STAMP.....	33
3.2	STPA – System Theoretic Process Analysis .....	34
3.3	Identifikace nehod a ztrát na systémové úrovni – STPA krok 1. ....	34
3.3.1	Určení systémových ztrát (Loss).....	35
3.3.2	Určení systémového nebezpečí (Hazards) .....	35
3.3.3	Určení systémových omezení.....	35
3.4	Zobrazení řídicí struktury – STPA krok 2.....	35
3.4.1	Řídicí struktura .....	36
3.5	Identifikace řídicích akcí vedoucích k nebezpečí – STPA krok 3. ....	37
3.5.1	Vytvoření korespondujících bezpečnostních omezení .....	39
3.6	Nalezení příčiny a identifikace scénářů vedoucích k nebezpečí nebo ztrátě – STPA krok 4.....	40
3.6.1	Určení příčiny nebezpečného chování.....	40
3.6.2	Identifikace scénářů.....	41
<b>4</b>	<b>Prezentace výsledků.....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>Diskuze výsledků .....</b>	<b>44</b>
5.1	Navrhovaná opatření.....	44
5.2	Úprava OOP z 30. 12. 2020 LKR10 – UAS .....	44
5.2.1	Aplikace pravidel letu dronu v TRA pro MCTR.....	45
5.3	Použití rozlišovacích světel (majáků) a kontrastního zbarvení dronů.....	46
5.3.1	Podpora v legislativě.....	46
5.4	Pozorování dronu vybaveným antikolizním majákem .....	47
5.4.1	Let I. - ve dne, dron v pohybu bez převýšení .....	48
5.4.2	Let II. - ve dne, dron ve visu bez převýšení.....	51
5.4.3	Let III. – ve dne, dron ve visu s převýšením.....	53
5.4.4	Let IV. – v noci, dron ve visu s převýšením.....	55



---

5.5	Výsledky pozorování .....	56
5.5.1	Vliv pozadí při pozorování.....	56
5.5.2	Vliv sousostí relativního pohybu dronu a osy pozorování .....	57
5.5.3	Vliv převýšení nad osu pozorování .....	57
5.5.4	Vliv barvy světla.....	57
5.5.5	Další faktory.....	58
5.5.6	Omezení zvolené metody .....	58
5.5.7	Závěr pozorování.....	58
5.6	Vytvoření podmínek pro implementaci U-Space do LKAA .....	58
5.6.1	Státní lety v U-Space .....	59
5.6.2	Zavedení U-Space.....	60
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>62</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>63</b>



## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Pravidla létání dronů v blízkosti řízených letišť (CTR a MCTR) [6].....	15
Obr. 2: Počty incidentů dronů a jiných létajících objektů v letovém provozu v UK [17].....	24
Obr. 3: Počty incidentů dronů a ostatních bezp. zařízení zohledňující výšku letu.[17] .....	25
Obr. 4: Počty incidentů dronů a ostatních bezp. zař. zohledňující výšku letu a rok [17] .....	26
Obr. 5: Místa hlášených incidentů dronů (2018) v okolí letiště Zürich, Švýcarsko [19].....	28
Obr. 6: Vrtulník G2 HB-ZYZ a DJI Spark [20] .....	29
Obr. 7: Rozsah poškození po kolizi [20] .....	29
Obr. 8 Ochranná pásma letiště promítnutá (fialové) do modelu terénu v okolí LSZL [20].....	30
Obr. 9 Výpočet sil vzniklých při kolizi dronu DJI Phantom 4 s letounem [22].....	31
Obr. 10 Bell 206B po kolizi s dronem DJI Mavic Air 2 (Chile 2021) [23].....	32
Obr. 11 Princip řídicí struktury systému [24].....	36
Obr. 12 Řídicí struktura systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT .....	36
Obr. 13 Použité vybavení pro zkušební lety – DJI Mini II a zdroj světla .....	48
Obr. 14 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 1 .....	50
Obr. 15 Kontrolní let 1 bez zdroje světla .....	50
Obr. 16 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 2.....	52
Obr. 17 Kontrolní let 2 bez zdroje světla.....	52
Obr. 18 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 3.....	54
Obr. 19 Kontrolní let 3 bez zdroje světla.....	54
Obr. 20 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 4.....	56



## SEZNAM TABULEK

Tab 1: Minimální výšky letů VFR ve dne (OAT) .....	19
Tab 2: Minimální výšky letů VFR v noci (OAT) .....	19
Tab 3: Minimální výšky letů VFR v noci s NVIS (OAT).....	20
Tab 4 Letištní a traťové lety vrtulníků (OAT) v MCTR a rezervovaných prostorech.....	20
Tab 5 Ztráty v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT .....	35
Tab 6 Nebezpečí v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT .....	35
Tab 7 Systémová omezení v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT .....	35
Tab 8 Řídící akce vedoucí k nebezpečí v systému smíšeného provozu U/A a OAT .....	37
Tab 9 Bezpečnostní omezení v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT .....	39
Tab 10 Nebezpečné chování řídicích prvků v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT, příčiny a vysvětlující scénáře. Rozdělení dle typu a druhů .....	42
Tab 11 záznam pozorování – let 1 .....	49
Tab 12 Záznam pozorování – let 2 .....	51
Tab 13 Záznam pozorování – let 3 .....	53
Tab 14 Záznam pozorování – let 4 .....	55



## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

ICAO	Mezinárodní organizace civilního letectví
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System – posádkou neobsazený, na dálku řízený létající prostředek s různou úrovní automatizace letu.
UAS	Unmanned Aircraft System – posádkou neobsazený (bezpilotní) systém
UAV, UA	Unmanned Aircraft – posádkou neobsazený (bezpilotní) prostředek
MTOM	Maximum Take Off Mass – maximální vzletová hmotnost
VLOS	Visual Line of Sight – let na přímou viditelnost (dron je po celou dobu letu jasně viditelný z pozice pilota-operátora)
EVLOS	Extended VLOS – let dronu na vzdálenost prodlouženou o výhled poučené osoby, udržující dron jasně viditelný ze své pozice
BVLOS	Beyond VLOS – let dronu na vzdálenost přesahující VLOS nebo EVLOS, schopný samostatného letu
VFR	Visual Flight Rules – pravidla letu za vidu
IFR	Instrument Flight Rules – pravidla letu podle přístrojů
VMC	Visual Meteorological Conditions – povětrnostní podmínky umožňující let za vidu
IMC	Instrument Meteorological Conditions – povětrnostní podmínky neumožňující let za vidu
LKR	Restricted Area – Omezený prostor, část vzdušného prostoru k ochraně letadel
LKP	Prohibited Area – zakázaný prostor, část vzdušného prostoru, ve kterém je let zakázán
LKD	Dangerous Area – nebezpečný prostor, část vzdušného prostoru, ve kterém hrozí jiné nebezpečí
TRA	Temporary Restricted Area – dočasně rezervovaný prostor pro specifické použití jinou složkou letectví



---

TSA	Temporary Segregated Area – dočasně vyhrazený prostor pro výhradní použití jinou složkou letectví
CTR	Control Zone – řízený okrsek
MCTR	Military Control Zone – vojenský řízený okrsek
GAT	General Air Traffic – všeobecné letectví (řídí se pravidly ICAO)
OAT	Operational Air Traffic – vojenské lety (neřídí se pravidly ICAO v plném rozsahu)
NATO	North Atlantic Treaty Organization – Severoatlantická aliance
PČR	Policie ČR
HEMS	Helicopter Emergency Medical Service – Letecká záchranná služba
NVIS	Night Vision Imaging System – přístroj pro noční vidění
odpovídač SSR	Secondary Surveillance Radar – odpovídač sekundárního radaru
Mód A/C	Mód odpovídače SSR vysílající identifikační kód a údaj o výšce letu
Mód S	Mód odpovídače SSR umožňující funkce módu A/C a datovou komunikaci
STPA	System Theoretic Process Analysis
UCA	Unsafe Control Action – nebezpečná řídicí akce řídicího prvku

## Úvod

Po několik desítek let uznávaná pravidla, udržující vyvážené využívání společných částí vzdušného prostoru, se setkávají s nastupující generací bezpilotních, na dálku řízených, vzdušných prostředků UAV. Jejich rozvoj bezpochyby přinese revoluci v letectví. Umožní přepravu zboží a dopravu osob, cílenou na zákazníka, která bude závislá na volném pohybu prostorem.

Současná legislativa umožňuje smíšený provoz bezpilotních prostředků omezených, až na výjimky, do nejnižších pater vzdušného prostoru, který je však hojně využíván státem provozovaných letů vrtulníků. Možnosti posádek zjistit a bezpečně se vyhnout na dálku řízeným dronům jsou omezené, stejně jako schopnost pilotů dronů převzít za vyhýbání zodpovědnost, i když jim to legislativa nařizuje.

Cílem práce je stanovit opatření pro zajištění bezpečnosti OAT letů vrtulníků v nízkých a přízemních výškách ve vztahu k provozu UAV, specifikovat podmínky letů vrtulníků a UAV ve vzdušném prostoru třídy G, použití systémového přístupu k bezpečnosti a provedení analýzy nebezpečí OAT provozu vrtulníků v nízkých a přízemních výškách. Součástí práce je navržení a validace opatření pro zajištění jejich bezpečnosti.



## 1 PŘEHLED POZNATKŮ

Tato kapitola představuje uživatele nejnižších parter vzdušného prostoru. Popisuje charakter jejich provozu a legislativu spjatou s vykonávanými činnostmi. Definiuje použité pojmy.

### 1.1 Zavedení provozu bezpilotních prostředků do vzdušného prostoru ČR

Na základě požadavků vzniklého dynamickým rozvojem v oblasti bezpilotních systémů (UAS), vydala v roce 2011 Mezinárodní organizace pro civilní letectví – ICAO oběžník (Circular) [1] č. 328, který stanovuje základní požadavky na personál, leteckou techniku a provoz UAS. V dokumentu jsou zmíněny všechny dotčené oblasti, kterých se kombinovaný provoz posádkou obsazených letadel a bezpilotních systémů dotýká. Je zde poprvé popsána také sada základních pravidel provozu UAS, ze které vychází nařízení přijatá v dalších částech světa.

Současná legislativa opravňující létání s drony v České republice vychází od počátku roku 2021 z pravidel navržených Evropskou agenturou pro bezpečnost letectví (EASA), přijatá Evropskou komisí (EU) 2019/947 [2] a (EU) 2019/945 [3], které jsou zakotveny v Zákoně č. 49 o civilním letectví [4]. Zde jsou stanovena pravidla a omezení provozu, podmínky licencování pilotů-operátorů, jejich školení a přezkušování, a také technické požadavky pro výrobce i provozovatele UAS.

#### 1.1.1 Kategorie UAS

Provoz UAS je rozdělen do tří kategorií [2], pro které je klíčové snižování rizik při možném pádu nebo kolizi dronu bez ohledu na to, zda se jedná o komerční nebo nekomerční provoz. Kategorie se řídí maximální vzletovou hmotností dronu a také způsobem jejich použití. Základním měřítkem je kinetická a potenciální energie dronu, tedy přeneseně velikost možných škod či újmy na zdraví způsobené při případném selhání letecké techniky či její obsluhy.

##### Kategorie **OPEN**

- MTOM od 0,25 kg do 25 kg,
- rekreační použití
- let na viditelnou vzdálenost VLOS (Visual Line Of Sight)
- mimo i v zastavěné oblasti ale vždy mimo shromáždění lidí (subkategorie A1, A2) s ohledem na další členění dle MTOM do 2 kg
- vždy mimo zastavěné oblasti a MTOM >2 kg do 25 kg – subkategorie A3





- ke získání oprávnění pilota/provozovatele dronu je nutná registrace a splnění online testu.

#### Kategorie **SPECIFIC**

- MTOM může přesahovat 25 kg, nebo jiné požadavky kategorie OPEN
- let na viditelnou vzdálenost VLOS i BVLOS (Beyond VLOS) na základě povolení ÚCL
- povolení udělováno pro jednotlivé lety nebo dle „standartního scénáře použití“, s uvážením zmírňujících opatření identifikovaných v posouzení provozního rizika (SORA – Specific Operation Risk Assessment)
- ke získání oprávnění pilota/provozovatele dronu je nutná registrace, splnění online testu a podání žádosti k oprávnění k provozu
- ke získání oprávnění LUC (Light UAS Operator Certificate) je nutné složení zkoušky LUC a prokázání provozní zkušenosti
- Licence LUC opravňuje k samostatnému hodnocení rizika (profesionální provozovatel/pilot)

#### Kategorie **CERTIFIED**

- typový certifikát bezpilotního systému (certifikovaný provoz, údržba i výroba)
- možná obchodní činnost – přeprava osob, zboží a nebezpečného nákladu
- schválení provozovatele příslušným úřadem, osvědčení způsobilosti dálkově řídicího pilota

Přestože již prvotní dokument ICAO [1] z roku 2011 počítá s možností integrace UAS do vzdušného prostoru států bez segregace od ostatního, posádkou obsazeného provozu, poukazuje také na nutnost použití technického vybavení, které pomůže zajistit bezpečnost a plynulost letového provozu.

Zejména v prostorech bez poskytované služby řízení letového provozu, tedy v prostředí, kde se letový provoz řídí pravidly pro let za vidu – VFR (Visual Flight Rules). I přes intenzivní vývoj mnoha firem však doposud nebyla zavedena jednotná technická řešení, která je možná používat pro celou škálu UAS.

## 1.2 LKR10 – UAS

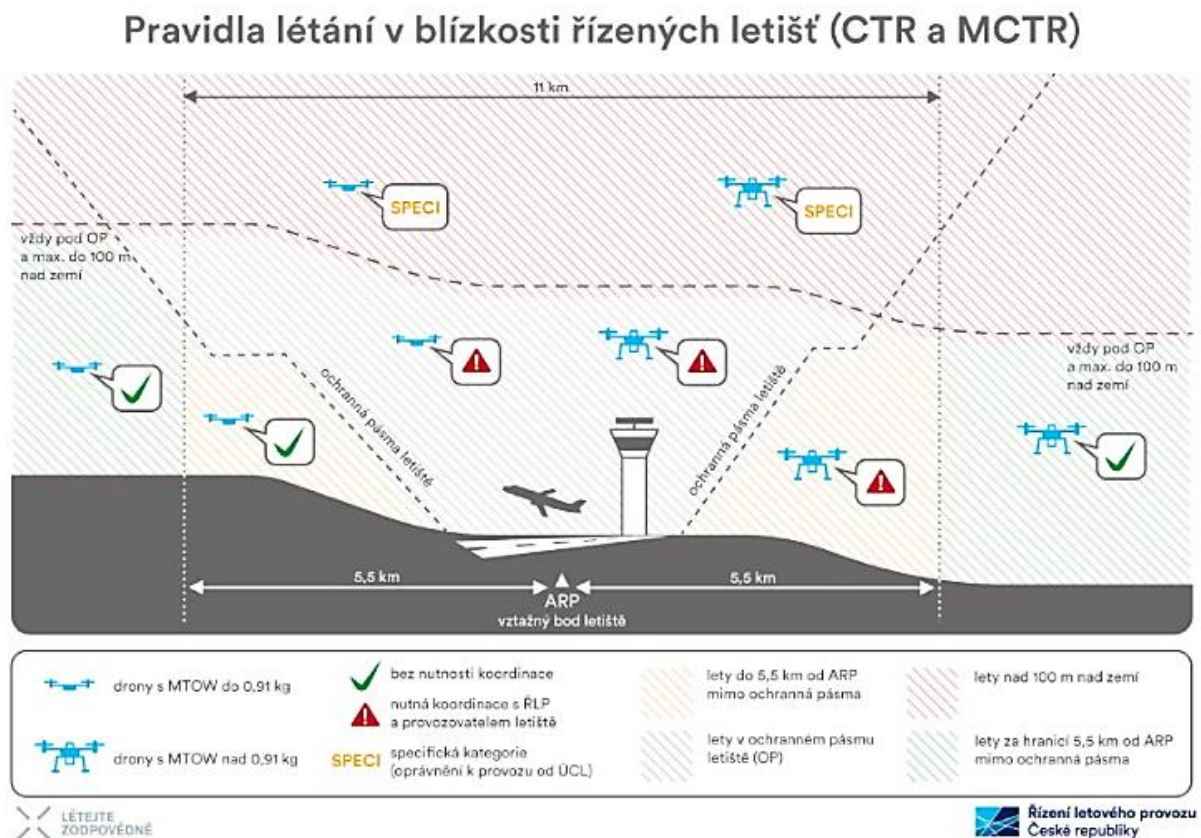
Na základě evropské legislativy [2,3], stanovující maximální výšku letu dronu do 400 ft nad terénem (120 m n.t.), je v ČR od 31. 12 2020 uvedeno v platnost Opatření obecné povahy OOP LKR10 – UAS [5], vydané Úřadem pro civilní letectví České republiky (ÚCL ČR). Tím se

zavádí omezený prostor LKR10 – UAS na celém území ČR. Vertikální rozsah od země po FL660. Maximální výška letu dronu v kategorii OPEN a SPECIFIC je zde povolena do 120 m n. t, pokud není stanoveno jinak.

Zcela jsou vyjmuty prostory LKP, LKD a LKR ve kterých let dronu není umožněn. Vyjmuty jsou také prostory aktivované jiným uživatelem (TRA, TSA), pro které je nutné získat povolení. Výjimky uděluje Úřad (ÚCL) [5].

V prostorech řízených okrsků (CTR a MCTR) je možný let UAS do 100 m nad terénem, až do horizontální vzdálenosti 5,5 km od vztažného bodu letiště. Za těchto podmínek nemusí být UAS vybaveno SSR (odpovědačem sekundárního radaru). Provedení letu není předmětem letového povolení udělovaným službou řízení letového provozu (ŘLP).

Bez koordinace je možné létat i blíže k letišti s ohledem na jeho ochranná pásma, ale pouze s drony o MTOM do 0,91 kg [5], Grafická verze pravidel létání drony v blízkosti řízených letišť (Obr.1), tak jak jej publikuje ŘLP ČR na svých webových stránkách [6].



Obr. 1: Pravidla létání dronů v blízkosti řízených letišť (CTR a MCTR) [6]



Tím je nabídnuta možnost volného provozu bezpilotních prostředků široké veřejnosti i komerčním subjektům, pakliže jsou dodržována pravidla provozu UAS. Obecně platí že „Piloti bezpilotních letadel jsou povinni provádět lety takovým způsobem, aby nedošlo k ohrožení pilotovaných letadel (včetně SLZ).“ [5]

### 1.3 Letový provoz GAT

Provoz civilních letadel – GAT (General Air Traffic) se v ČR řídí Zákonem č.49/1997 Sb. o civilním letectví [4] a předpisy řady L, vycházející z ICAO SARP a PANS, upravené pro potřeby ČR Ministerstvem dopravy a spojů a publikované ŘLP ČR.

Předpis L2 – Pravidla létání [7] stanovuje výšku 150 m n. t. jako minimální výšku letu. Obecně je považována za bezpečnou minimální výšku při letu nad překážkami. Zároveň umožňuje dostatečný přehled při srovnávací navigaci, která je při letech VFR v malých výškách využívána. Nad obydlenou oblastí je zohledňována výška největších vertikálních objektů a minimální výška letu je zde větší než 150 m, případně je nutno se obydlené oblasti vyhnout laterálně ve stanovených mezích.

Vzdušný prostor třídy G je dotčen omezeným prostorem LKR10 – UAS do 120 m. Horní hranice třídy G sahá do 300 m nad terénem, odkud navazuje prostor třídy E, který je taktéž neřízený. Z pohledu pilota malého letounu či vrtulníku je přechod mezi oběma prostory bezproblémový a nevyžaduje letové povolení.

Výšky okolo 300 m n. t. jsou běžně využívány pro lety mezi zájmovými body malými letouny a vrtulníky s pístovými motory a vrtulovým pohonem, zejména při letech na krátkou vzdálenost. Často se jedná o rekreační nebo vyhlídkové lety či letecký výcvik, pro které je žádoucí větší hustota vzduchu a dobrá viditelnost objektů na zemi.

#### 1.3.1 Lety GAT pod 150 m nad terénem

Mnohé lety GAT běžně probíhají pod hranicí 150 m n.t. Ať už z části nebo v celé délce. Jedná se o lety letecké záchranné služby (HEMS – Helicopter Emergency Medical Service) a dále o činnosti spadající do kategorií leteckých zemědělských a hasebních prací. Mohou to být také lety inspekční, výcvikové a nebo rekreační.

Kromě vzletů a přistání na letištích, heliportech a plochách SLZ (sportovní létající zařízení) je možné použití i jiných vhodných ploch, nejenom k rekreačním účelům. Ty je možno využít například také pro obchodní leteckou dopravu, pokud je provozována vrtulníky.

Pravidla pro použití ploch, které nejsou letištěm, ani vyznačeny jako plochy pro vzlety a přistání, se v ČR řídí vyhláškou č. 108/1997 Sb. § 14 [8], kde je stanovena kategorie letadel, jejich působnost (činnost pro kterou může být použito). Stanoveny jsou také podmínky



umožňující takovou plochu použít z hlediska souhlasu majitele či četnosti prováděných vzletů a přistání.

## 1.4 Lety OAT

Státní lety (OAT – Operation Air Traffic), tedy lety AČR a PČR, nespádají do působnosti zákona č.49/1997 Sb. [4] v jeho plném rozsahu, tak jako civilní letový provoz. Pravidla létání vojenských vrtulníků a letounů se řídí předpisem L1-6/L2 vydaným Ministerstvem obrany ČR, platným od 1. ledna 2022 [9], který stanovuje odlišnosti od civilního provozu vymezené letům OAT, za účelem bezpečného a efektivního provozu vojenských letadel a vrtulníků. I přes tyto odlišnosti je snaha o maximální dodržování civilních pravidel a letových postupů. Vyjma případů, kdy to povaha úkolu vyžaduje [9].

### 1.4.1 Organizace vojenských letů

Vojenské lety jsou organizovány z vojenských leteckých základen ČR. Veškeré vojenské lety vyžadují spojení s příslušným stanovištěm letových a provozních služeb, které koordinuje činnost dle priorit. Upřednostňuje se let v nouzi a k záchraně lidského života, či pátrání a záchraně, před bojovými lety v rámci obrany Českého státu nebo státu NATO. Ostatní, jako jsou lety policie ČR nebo lety státního významu, mají přednost před výcvikem [9]. Vojenský řídicí letového provozu úzce spolupracuje s civilním ŘLP a koordinuje lety OAT s civilním provozem v reálném čase.

Vojenské lety je možno rozdělit dle pravidel, tedy VFR a IFR, dle meteorologických podmínek (VMC / IMC), a denní doby za kterých jsou provozovány. Jsou prováděny v různých výškách od povrchu do stratosféry. Vrtulníky využívají nejčastěji přízemní výšky v rozsahu od země do 100 m n.t. a malé výšky od 100 do 300 m n.t. Rozsah výšek letu je závislý na druhu letu, respektive úkolu, denní doby a meteorologických podmínek. Druhem letu se rozumí letištní let a traťový let [9].

### 1.4.2 Letištní let

Prostor činnosti vyplývá z plnění konkrétního úkolu. Zejména v základním a udržovacím výcviku, jde nejčastěji o let po letištním okruhu a také v přilehlých částech MCTR. Mezi letištní lety také spadá letová činnost v rezervovaných prostorech TRA, které přiléhají k MTMA ve výšce od 300 m n.t. Záměrně se hranice prostoru TRA nedotýká MCTR. Vniká tak úzký pruh v prostoru třídy G využitelný ostatním provozem, kterým lze prolétávat i v případě aktivace prostorů TRA.

Výška letu OAT vrtulníků v MCTR a TRA při letech VFR je stanovena od 15 m ve dne a 150 m v noci. S použitím speciálního vybavení pro lety v noci (NVIS) je let veden minimálně v



15 m s ohledem na vertikální překážky [9]. V obou druzích vzdušného prostoru je poskytována služba řízení letového provozu, vyžadující oboustranné spojení a použití odpovídače v módu A/C nebo S.

### 1.4.3 Traťový let / přelet

Jedná se o hlavní letovou činnost. Vzlet a přistání je provedeno ze stejného letiště. Trať letu směřuje do vzdálenějších pracovních prostorů TRA / TSA, nebo do jiného zájmového prostoru, a zpět.

Přesuny, navigační lety, mohou být vedeny pod taktickým námětem. Na rekognoskovaných částech trati je udržována výška nejméně 15 m n. t. [9]. Let v malé výšce je navigačně obtížný a vyžaduje vysokou úroveň výcviku posádky. Poskytuje však taktickou výhodu a skryt před prostředky včasného varování protivzdušné obrany nepřítele.

Obecně, let pod 150 m n.t umožňuje, v závislosti na stanovených minimech posádky a typu letadla, podlétávání nízké oblačnosti za stále viditelnosti povrchu země. Nízkým letem se také snižuje počet úhybných manévruů vůči ostatnímu provozu v neřízeném prostoru třídy G. Příprava letu vyžaduje detailní plánování zohledňující vertikální překážky a profil trati. Prostory vyhlášené cestou NOTAM se standartně oblétaávají. Trať letu je vedena mimo zastavěné oblasti [9].

Přeletem se rozumí traťový let, ukončený na jiném místě, než je letiště vzletu [9]

### 1.4.4 Činnost v pracovních prostorech TSA

Úplná segregace vojenského letového provozu v prostorech TSA umožňuje plnohodnotnou podporu manévru pozemních jednotek spojených s integrací palebné podpory dělostřelectva s vojenskými UAV, vrtulníky a letadly. Minimální výška letu vrtulníků je stanovena od 3 m n.t., Vojenské UAV se pohybují od 100 m do výšek několika tisíc metrů, dle typu. Pro bojové/cvičné letouny se minimální výška letu stanovuje dle úkolu, avšak minimálně 30 m n.t.

Tento velmi komplexní letový provoz je koordinován předsunutými leteckými návodčími, kteří stanovují vyčkávací prostory a výšky/hladiny s ohledem na probíhající palby dělostřelectva, určují náletové směry a sekvenci leteckého útoku. Naprosto rozdílný je pak letový profil útočícího letounu a vrtulníku, kdy vrtulník manévruje v přízemních výškách a využívá skrytu, zatímco letoun využívá rychlosti a přebytku výkonu k překvapivým útokům pod strmým úhlem náletu. Přesto lze dosáhnout synergického efektu využitím rozdílných vlastností obou typů a škály zbraňových systémů.



Vyčkávací prostory vojenských vrtulníků a UAV jsou, vzhledem k velikosti TSA a parametrů pro střelbu, určovány až těsně ke vnitřní hranici TSA. Při oblévání aktivních TSA je nutné, aby ostatní provoz dodržoval předepsaný odstup [7].

#### 1.4.5 Lety OAT pod 150 m nad terénem

Minimální výšky letu jsou stanoveny v předpise Let 1-6/L2 [9], hlava 4, 4.6.1 Minimální výšky letu VFR podle osnovy leteckého výcviku následovně:

- Let 1-6/L2 [9], Hlava 4, 4.6.1.1 odstavec c) Minimální výška letu VFR **ve dne** podle osnovy leteckého výcviku (tab.1)
- Let 1-6/L2 [9], Hlava 4, 4.6.1.1 odstavec d) Minimální výška letu VFR **v noci** podle osnovy leteckého výcviku (tab.2)
- Let 1-6/L2 [9], Hlava 4, 4.6.1.1 odstavec e) Minimální výška letu VFR **v noci se speciálním vybavením pro lety v noci** podle osnovy leteckého výcviku (tab.3)
- Let 1-6/L2 [9], Hlava 4, 4.6.1.1 odstavec f) Minimální výška letu VFR **ve dne a v noci pro vrtulníky podle osnovy leteckého výcviku** plnící specifické úkoly bojového použití (tab 4.)

Tab 1: Minimální výšky letů VFR ve dne (OAT)

Let VFR ve dne (OAT)				
	*Minimální výška letu nad nejvyšší překážkou dle omezení:			
	Letištní let	Traťový let	Let v TRA/TSA/NOTAM	Let po okruhu
Letouny	90 m AGL	-	30 m AGL	100 m AAL
Vrtulníky	15 m AGL	15 m AGL	15 m AGL	100 m AAL

\* v okruhu 150 m od letadla

Tab 2: Minimální výšky letů VFR v noci (OAT)

Let VFR v noci (OAT)				
	Minimální výška letu nad nejvyšší překážkou dle omezení *			
	Letištní let	Traťový let	Let v TRA/TSA/NOTAM	Let po okruhu
Letouny	400 m AGL	600 m AGL	-	300 m AAL
Vrtulníky	150 m AGL	150 m AGL	-	150 m AAL



Tab 3: Minimální výšky letů VFR v noci s NVIS (OAT)

Let VFR v noci s NVIS (OAT)				
	Minimální výška letu nad nejvyšší překážkou dle omezení *			
	Letištní let	Traťový let	Let v TRA/TSA/NOTAM	Let po okruhu
Letouny	150 m AGL	150 m AGL	-	300 m AAL
Vrtulníky	15 m AGL	15 m AGL	-	150 m AAL

\* v okruhu 600 m od letadla / v okruhu 1 km od letadla mimo CTR, MCTR

Tab 4 Letištní a traťové lety vrtulníků (OAT) v MCTR a rezervovaných prostorech

Letištní a traťové lety VRTULNÍKŮ podle VFR ve dne a v noci ** (OAT)				
	Minimální výška letu nad nejvyšší překážkou dle omezení *			
	Letištní let	Traťový let	Let v TRA/TSA/NOTAM	Let po okruhu
Vrtulníky	3 m AGL	3 m AGL	3 m AGL	-

\* Lety pouze v **MCTR** a prostorech **TRA, TSA, NOTAM, AIP SUP**, pouze na rekognoskovaných tratích (ne déle než 30 dnů) s ohledem na umělé překážky. Vzdálenost od překážek min. 1 průměr nosného rotoru ve dne a min 2 průměry nosného rotoru v noci

\*\* pouze s NVIS

Všechny ostatní lety se provádí do minimální výšky letu pro lety GAT, uvedených v Let 1-6/L2 [9], Hlava 4, 4.6.1 Minimální výška letu VFR, 4.6.1.1 odstavec a) Minimální výška letu VFR ve dne (GAT) a b) Minimální výška letu VFR v noci (GAT).

## 1.5 Shrnutí druhé kapitoly

V kapitole byly představeny hlavní druhy provozu využívající nejnižší patra vzdušného prostoru v ČR. Bylo uvedeno základní rozdělení bezpilotních prostředků do kategorií a druhu provozu spolu s omezeními, týkající se maximální výšky letu mimo i v blízkosti letišť.

Jmenovaná legislativa, kterou se řídí lety GAT a OAT, umožňuje všem, civilním i státním subjektům, využívat také přízemní výšky pro pracovní činnost. Bylo uvedeno rozdělení letů OAT dle druhu a popsán jejich typický provoz. Z uvedeného také vyplývá, že provoz OAT často využívá přízemní výšku nejen uvnitř segregovaných prostorů, ale běžně také v CTR a na trasách vedených prostorem třídy G, tedy ve volně přístupných prostorech pro lety dronů.



## 2 PROBLEMATIKA SMÍŠENÉHO PROVOZU UAS A VRTULNÍKŮ V MALÝCH A PŘÍZEMNÍCH VÝŠKÁCH

Tato kapitola se zabývá problematikou společného provozu bezpilotních prostředků a posádkou obsazených, pilotovaných letounů a vrtulníků. Popisuje přijatá opatření vyplývající z incidentů vzniklých při provozu. Zabývá se souhrnnou analýzou bezpečnosti provozu UAV švýcarské komise pro vyšetřování a bezpečnost letového provozu.

Kapitola uvádí statistická data výskytu incidentů UAV a výstupy průzkumů poukazující na přístup veřejnosti k zodpovědnému létání. Popisuje analytický model pro výpočet sil vzniklých při kolizi letadla s UAV a poukazuje na kritické faktory ovlivňující bezpečnost společného provozu.

Pojem **přízemní výška** reprezentuje obecně prostor od země do 150 m n. t. [11].

### 2.1 Připomínky odborné veřejnosti

Již od roku 2015, kdy Evropská agentura pro bezpečnost v letectví – EASA navrhovala první harmonizovaná evropská pravidla provozu bezpilotních prostředků, se profesionální piloti poskytující svoje služby při výše jmenovaných činnostech, ale také při letech letecké záchranné služby (HEMS – Helicopter Emergency Medical Service), důrazně se ohrazují vůči pravidlům umožňující prakticky neregulovaný provoz dronů v malých a přízemních výškách v rámci EU.

Poukazují na rizika spojená s provozem nezaregistrovaných dronů, pilotovaných osobami bez patřičného školení, registrace a bez pojištění. Zaměřují se také na nedodržování pravidel létání s drony, zejména okolo letišť a míst s hustým leteckým provozem. Již v té době argumentují výčtem incidentů a leteckých nehod spojených s provozem dronů, který má dodnes narůstající trend.

Snahou profesionálních pilotů, sdružených v různých asociacích jako je například European Cockpit Association – ECA, je pojmenování a zviditelnění rizik spojených s provozem letadel a vrtulníků v malých a přízemních výškách. Jejich námítky a návrhy na bezpečnější pravidla ochraňující posádkou obsazená letadla byla uveřejněna na EASA Rotorcraft sympoziu v Colagne (Německo), kapitánem Thomasem Ruederem již v roce 2015 [10].

V dokumentu ECA Operations of Unmanned Aircraft Systems in Very Low Level Airspace, (2019) [11], se autoři zaměřují na problematiku bezpečného vyhýbání při letech VFR, která se, ve smíšeném provozu s UAS, stává obtížně splnitelná (metoda See & Avoid). Předložené požadavky na postupy při smíšeném provozu jsou později v mnohém použity v konceptu U-Space, (koncept řízeného vzdušného prostor využívající UTM – UAS Traffic Management)





ECA [11] trvá na důsledném školení pilotů-operátorů dronů a regulaci vydávání pilotních licencí. Stejně jako mnohé státní autority v letectví (CAA – Civil Aviation Authority), vidí nutnost zpřístupnění této problematiky veřejnosti, zejména zájemcům o létání s drony.

Harmonizovaná pravidla EU, shrnutá v publikaci EASA – Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems [12] z roku 2022 mnohé ze zmíněných požadavků zohledňují.

## 2.2 Dosavadní opatření pro zvýšení bezpečnosti smíšeného provozu

Cílem opatření je předcházet podobným incidentům jako byl zaznamenán v roce 2018 na letišti London Gatwick [13], kde několik opakujících se průletů dronu v těsné blízkosti aktivní vzletové a přistávací dráhy vedlo k uzavření dráhy po dobu několika hodin. Opětovné průlety dronu v blízkosti RWY donutily vedení letiště k uzavření a otevření několikrát, v průběhu dvou dnů. Důsledky byly nejen ekonomické, (přibližně 760 letů bylo zrušeno) [13].

Bylo také zjištěno mnoho nedostatků v přístupu k bezpečnosti a ochraně důležitých objektů a strategické infrastruktury vůči nezákonnému použití na dálku ovládaných letadel, proti kterým je třeba zasahovat. Přesto že jsou vyvíjeny a zaváděny technologie umožňující převzetí dronu, nebo jeho uzemnění, zatím stále chybí legislativa opravňující k takovým krokům a k ochraně složek provádějící takovou represivní akci v případě vzniku dalších škod.

### 2.2.1 Podpora řízení letiště při incidentu s drony

EASA reagovala vydáním uceleného materiálu doporučujícího charakteru, který poskytuje cenné rady provozovatelům mezinárodních regionálních letišť v případech, kdy je zaznamenán neohlášený a neautorizovaný provoz dronů v jejich blízkosti. Dokument EASA Drone Incident Management at Aerodromes [14] je rozdělen na tři části, z nichž pouze první je přístupná veřejnosti. **Riziko spojené s drony v okolí letiště** rozděluje následovně:

- Nízké riziko – kategorie OPEN s MTOM do 25 kg (modely, činnost VLOS)
- Zvýšené riziko – kategorie SPECIFIC (přeprava zboží, činnost BVLOS)
- Riziko rovné ostatnímu provozu letadel – kategorie CERTIFIED (Cargo, Air Taxi)

**Incidenty** jsou rozděleny jako:

- nedbalostní
- hrubě nedbalostní
- kriminálně nebo teroristicky motivované

Dokument [14] poukazuje na hybridní rizika spojená se samotnou přítomností dronu v daném prostoru a možností jeho použití jako „zbraně“ proti důležité infrastruktuře. V dalších,



neveřejných částech dokumentu, blíže specifikuje postupy při zasahování proti dronům s využitím detekčních a Counter – UAS technologií.

### 2.2.2 Geo – Funkce

Vysoká medializace „Gatwick Incidentu“ [13] a zprávy o mnohých podobných narušeních uvedly v činnost také výrobce dronů k vývoji protiopatření. V současnosti musí všechny drony zaváděné na trh obsahovat databázi prostorů vyhrazených pouze pro letovou činnost posádkou obsazených letadel nebo ochraňujících důležité objekty – **geo-location**. Další funkce upozorní samotného uživatele na vyhrazený prostor – **geo-awareness**. K samotnému zamezení letu dronu ve vyhrazeném prostoru je zabráněno funkcí – **geo-fencing** [12].

Tyto funkcionality jsou zakotveny v evropské legislativě zavazující výrobce vybavit jimi každý dron uváděný na trh. Povinností provozovatele dronu je provedení registrace a označení dronu štítkem, nesoucím data jeho provozovatele [12].

### 2.2.3 Remote – ID

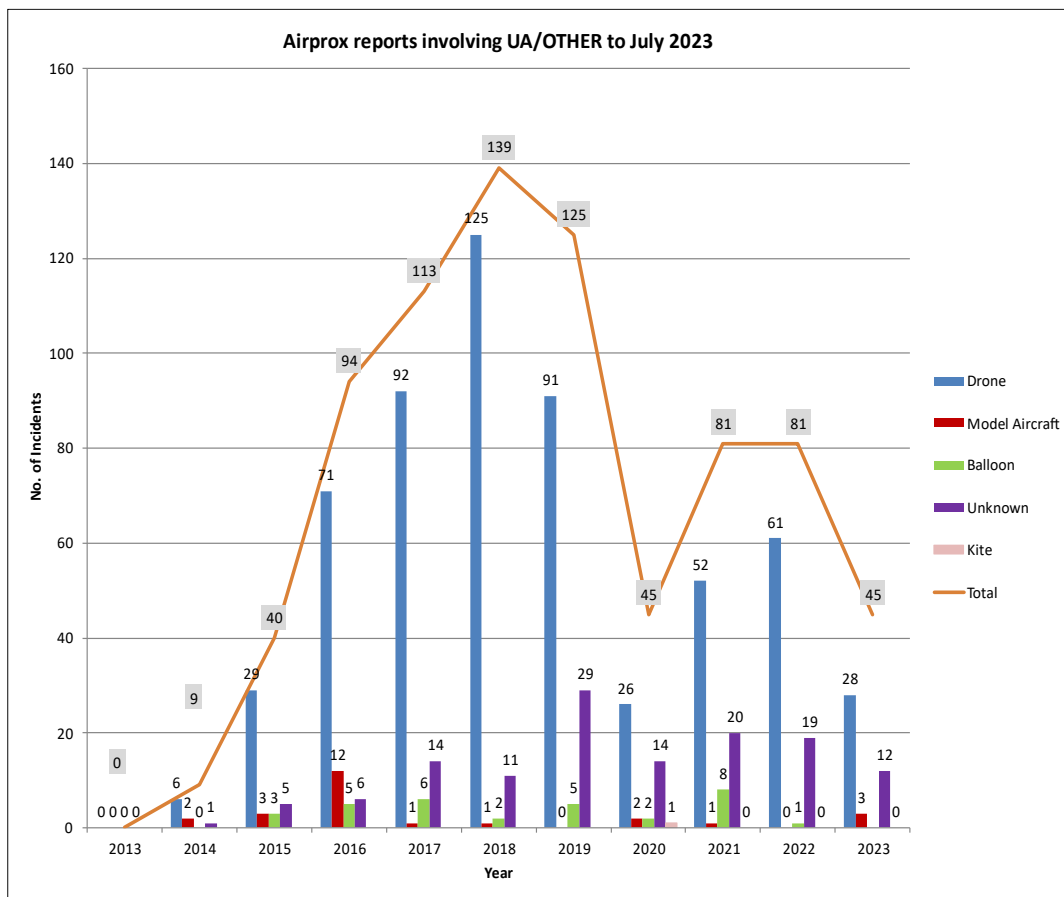
Dlouho připravovaná je také funkce Remote-ID (vzdálené identity), která bude vyžadovat, aby každý aktivní dron vysílal v reálném čase souhrn letových a pozičních dat, spolu s údaji registrovaného provozovatele a pozice jeho řídicí stanice. Tato povinnost, dle ÚCL, bude zavedena v ČR od počátku roku 2024.

Jedním z omezení, která Remote-ID dronu oddalují, je řešení přenosové komunikační sítě. S rostoucím počtem registrovaných uživatelů narůstají kapacitní požadavky na přenosovou síť, která bude muset být schopna přenášet velké množství dat. Například v ČR se jedná zatím o více než 50 tisíc provozovatelů dronů (k březnu 2023). Data budou šířena buď přímo z dronu nebo jeho řídicí stanice. Technologie využívající wifi a Bluetooth 5, vyvinutá českým výrobcem Dronetag s.r.o. [15], bude šířit informace na krátkou vzdálenost v reálném čase. Bude tak možné data zachytit s využitím mobilního telefonu třetí osoby, nacházející se v okolí dronu a zjistit tak například, o jaký provoz se jedná [15].

## 2.3 Statistická data incidentů a nehod UAS

S komerčním rozmachem stále dostupnějších, bezpilotních prostředků na trhu se objevuje velké množství hlášených incidentů a nehod, spojených s jejich provozem.

Statistická data EASA [16] lze porovnat například s daty sbíranými na Britských ostrovech Výborem pro bezpečnost letectví Velké Británie – UKAB (UK Airprox Board) [17]. V grafu (Obr.2) je patrná křivka sledující počet incidentů dle druhu létajícího prostředku za daný rok.

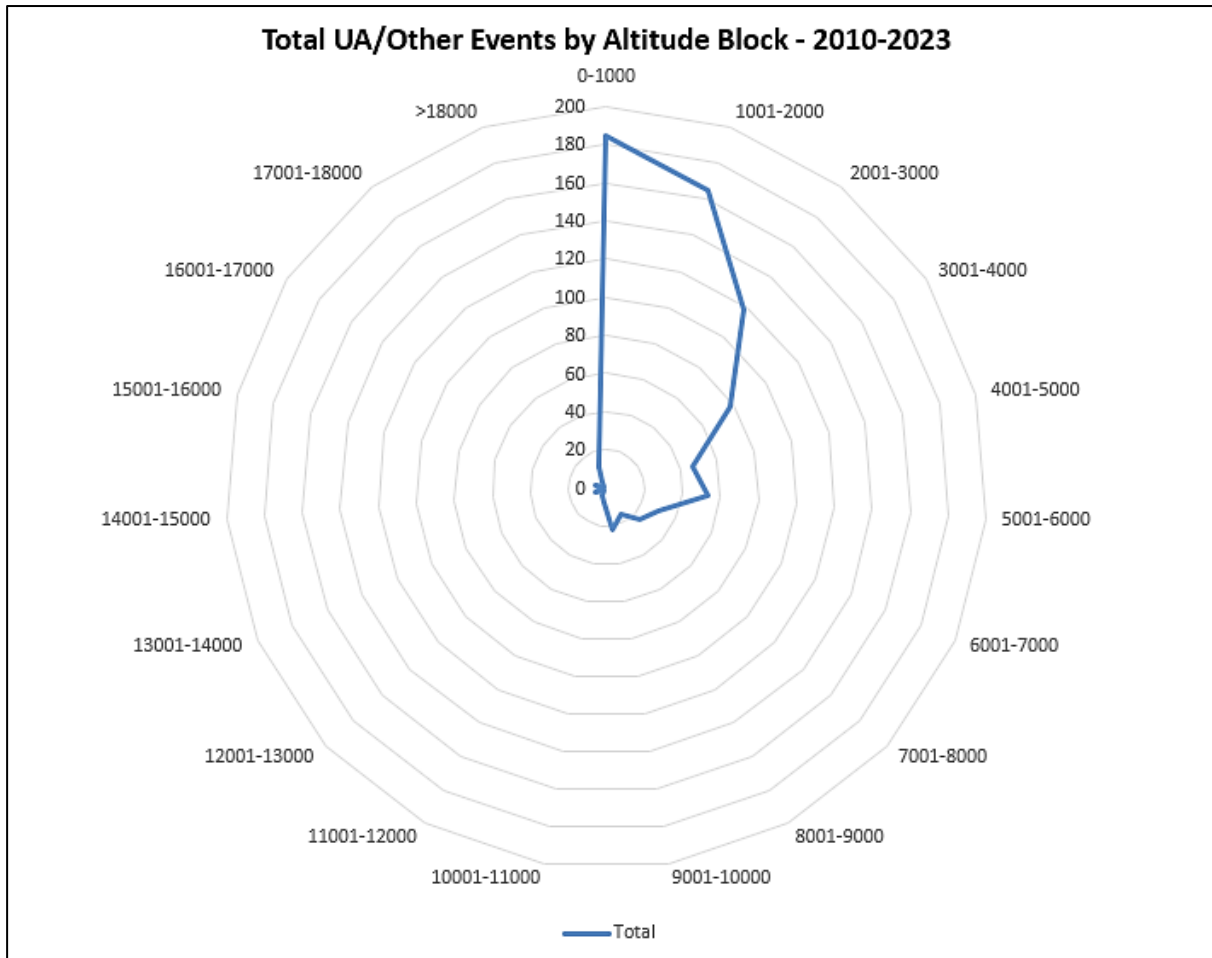


Obr. 2: Počty incidentů dronů a jiných létajících objektů v letovém provozu v UK, za období 2011–2023 (duben)[17]

Na rozdíl od publikované statistiky ve výročních zprávách o bezpečnosti provozu [15], zahrnují data UKAB i ostatní druhy posádkou neobsazených létajících prostředků. Incidentů s drony je ale nejvíce. Výrazný nárůst lze spojovat s prodejem zejména malých dronů.

Atraktivní schopnosti, technologicky velmi vyspělých a cenově přijatelných dronů, přilákaly mnoho nadšenců k jejich provozování. Pokles v roce 2019 je přisuzován pozitivním dopadům osvětové kampaně organizované národním leteckou autoritou reagující také mimo jiné na „Gatwick incident“ z roku 2018.

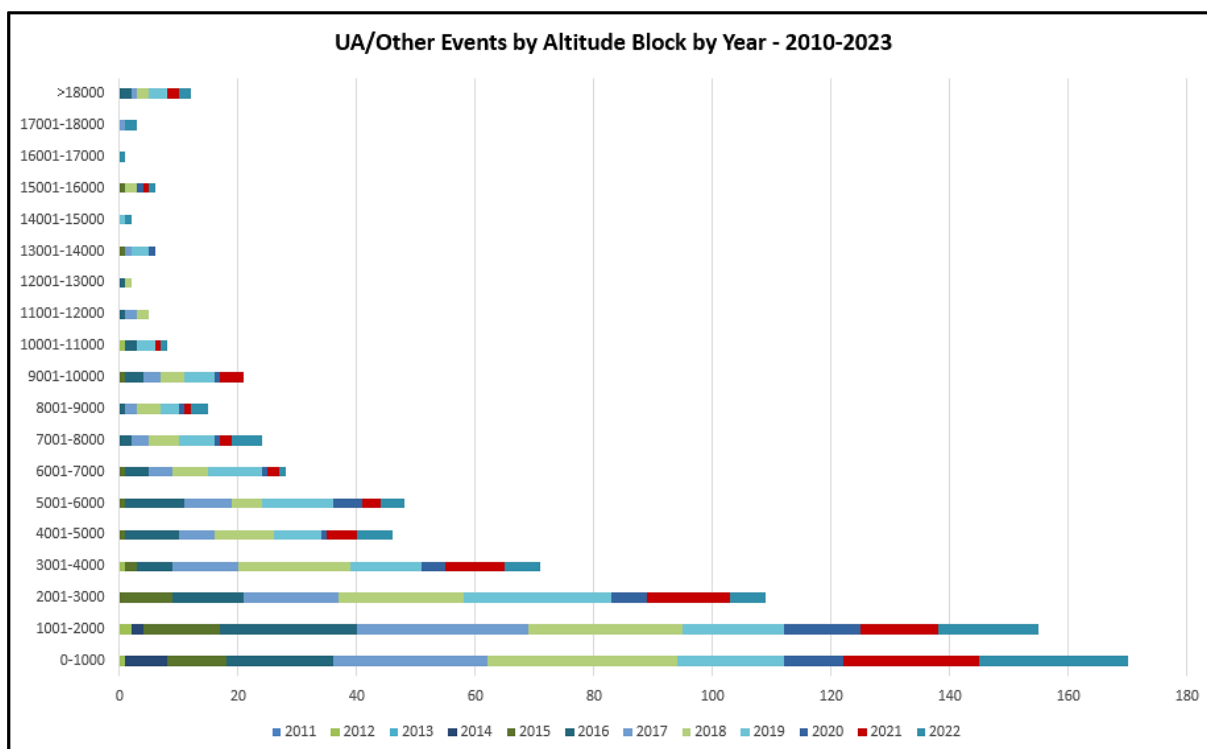
Graf (Obr.3) zachycuje výskyt incidentů UAV a ostatních nepilotovaných objektů (Other), dle výškového rozdělení za sledované období [17]. Soustředné kružnice reprezentují počet incidentů za sledované období, hodnoty po obvodu kruhu jednotlivé výškové bloky [ft]. Pomyslný radiál, směřující od středu k okraji, protíná modře vyznačenou hodnotu počtu incidentů v konkrétním výškovém bloku.



Obr. 3: Počty incidentů dronů a ostatních bezpilotních zařízení zohledňující výšku letu. 2010 - 2023

(červenec)[17]

V grafu (Obr.4) jsou zobrazena data ze stejného období, vyjádřena barevně pro danou výšku a rok, ve kterém se udály [17].



Obr. 4: Počty incidentů dronů a ostatních bezpilotních zařízení, za sledované období 2010–2023 (duben), zohledňující výšku letu a daný rok [17]

Z pohledu výškového členění výskytu zaznamenaných incidentů je nejnebezpečnější právě let ve výškách do 300 m, přesto, že i v UK je horní hranice letu dronu stanovena do 400 ft (120 m n.t.). Výrazný je také počet pozorování ve výškách okolo 3000 ft (1 km), kde se pohybuje velký počet letadel a vrtulníků GA.

## 2.4 Malá motivace uživatelů znát a řídit se pravidly pro drony

Národní úřad civilního letectví ve Velké Británii provedl, v dubnu 2023, každoroční průzkum dat mezi piloty dronů a nelétající veřejností [18]. Poskytl tak náhled do současného povědomí „Dron –komunity“ Velké Británie o závazných pravidlech a omezeních pro drony.

Dotazováno bylo 500 pilotů starších 18 let a také na 2000 osob z řad veřejnosti, umožňující srovnání obecného povědomí o dronech. Seznam otázek zjišťuje, do jaké míry jsou pro respondenty, pravidla pro lety dronů závazná.

Na 36 % dotazovaných pilotů nepovažuje za povinnost dodržování maximální výšky letu pod 400 ft nebo neví, zda tento limit je pro ně závazný. Na 35 % respondentů také nepovažuje povinnost mít dron při letu stále na dohled, za závaznou.



Mezi dotazovanými je patrná přetrvávající nevole dobrovolné registrace pilota/provozovatele. Pro 30 % dotazovaných pilotů je registrace pouze doporučením. Přesto se, oproti předchozím každoročním průzkumům, projevilo podstatné zlepšení. Zajímavostí však je, že pro zbývající respondenty by největší motivací k provedení registrace byly až represivní opatření ve formě vysoké pokuty vymáhané policií [18].

## 2.5 Registrace pilota/provozovatele

Ve Velké Británii, tak jako v EU [12], je zavedena povinnost registrace pilota /operátora a registrace dronu, označeného štítkem, bez kterého není možné legálně létat s dronem. Povinná registrace pilota / provozovatele, spojená s registrací dronu, umožňuje, mimo jiné, získání dat o provedených školeních a provozované letové činnosti.

Létání, které není až tak úplně anonymní, vede k zodpovědnějšímu přístupu k okolí. V případě nedodržování některých omezení je možné zodpovědnou osobu dohledat a kontaktovat, případně vymáhat pokutu. Může také chránit samotného pilota/provozovatele v případě, kdy by mohl být, jím prováděný let dronu, označen za narušující nebo ohrožující.

Tomu by mělo napomoci očekávané zavedení „Remote-ID“, kdy registrační data vysílá samotný dron v reálném čase po wifi a je možné, použitím aplikace v mobilním telefonu zjistit, zda jsou pravidla dodržována, či zda je let veden dle udělené výjimky v daném prostoru.

## 2.6 Kolize dronů a posádkou obsazených letadel

Z dosavadních průzkumů i statistik leteckých nehod a incidentů, spojovaných s provozem UA, je tedy zřejmé, že nemalá část pilotů/provozovatelů dronů nejeví dostatečný zájem o dodržování základní prvků bezpečnosti při létání s drony. To se projevuje poměrně vysokou intenzitou incidentů v lokalitách s hustým provozem posádkou obsazených letadel.

Jako příklad může sloužit zpráva Vyšetřovací komise švýcarského institutu pro bezpečnost v dopravě (Swiss Transportation Safety Investigation Board – STSB) z vyšetřování vážného incidentu letounu Airbus A319 společnosti Swiss Air (2019). Výňatek ze závěrečné zprávy publikované 21.srpna 2020 [19]:

### 2.6.1 Nebezpečné sblížení letounu A319 a neznámého dronu (2018, Zürich, Švýcarsko)

[19]. Lokalita Stadlerberg (ZH), v prodloužení osy dráhy 14 letiště v Zürichu. Letoun registrační značky HB-IPT se v 16:57 místního času přibližoval na přistání. Letoun převážel 103 pasažérů a 5 členů posádky, byl vybaven fungujícím antitokolizním systémem TCAS.

Dle výpovědi posádky byl ve váženosti 5000 m od prahu dráhy 14, ve výšce 3000 ft AGL, spatřen neznámý objekt, připomínající shluk ptáků. Objekt se nacházel v zorném poli kapitána letounu, přímo ve střetném kurzu.

Kapitán letounu již nebyl schopen úhybného manévru, vzhledem ke krátké vzdálenosti od zpozorovaného objektu, který byl následně identifikován jako stříbrnošedý dron nezvykle velkých rozměrů, oproti standartně prodávaným dronům. Dron minul kabinu posádky ve vzdálenosti do 10 m nad její úrovní. Posádka předala informaci o pozorování ŘLP. Následující letouny na sestupu k dráze však již dron nezaznamenaly.

Zpráva STSB [19] poskytuje výčet dalších incidentů a nehod spojených zejména s obchodní leteckou dopravou v okolí nejvytíženějšího letiště v regionu včetně podrobné mapy zobrazující lokality jednotlivých pozorování (Obr.5)



Obr. 5: Místa hlášených incidentů dronů (2018) v okolí letiště Zürich, Švýcarsko [19]

Do výčtu jsou zahrnuty také některé nehody z jiných částí regionu a ze světa, z nichž uvádím nehodu vrtulníku a dronu:

### 2.6.2 Kolize DJI Spark / Guimbal Cabri G2 (2018, Locarno, Švýcarsko)

Dle zprávy z vyšetřování letecké nehody [19] ([20] – STSB Rapporto Sommario), došlo dne 25. května 2018 v 10:20 místního času, během odletu helikoptéry z letiště Locarno k výcvikovému letu, ke kolizi s malým objektem.

Pilot vrtulníku zaznamenal náraz a následně ořesy v řízení. Předpokládal, že došlo ke srážce s ptákem, přerušil let a provedl bezpečnostní přistání zpět na letišti Locarno.

Po provedení inspekce byl nalezeno poškození listu nosného rotoru. Bez přítomnosti biologických stop byla srážka s ptákem vyloučena. STSB krátce na to identifikoval pilota dronu. Vrak dronu DJI Spark (MTOM 0,5 kg) byl později také nalezen.

Ke kolizi došlo ve vzdálenosti 3 km od vztažného bodu letiště Locarno (LSZL), v prostoru nad hrází přehrady Verzasca. Z letových dat záznamového zařízení helikoptéry byla výška letu dronu určena na 500 m n.t. Vzdálenost pilota dronu od místa kolize byla přibližně 5 km.

Z vyšetřování vyplynulo že pilot dronu neměl UAV v dohledu. Švýcarská legislativa, na rozdíl od legislativy EU, v té době (2018) umožňovala let UAV, do MTOM 30 kg, bez koordinace s ŘLP až do výšky 300 m. Místo kolize se nachází také v zóně zakazující lety dronů z důvodu výskytu chráněných druhů ptactva. Pro let daném prostoru je nutné sjednání výjimky s příslušným úřadem, která v tomto případě nebyla zajištěna.

Na obrázcích (Obr.6,7) je zachycen vrtulník HB\_ZYZ, dron DJI Spark a také rozsah škod způsobených kolizí.



Obr. 6: Vrtulník G2 HB-ZYZ a DJI Spark [20]

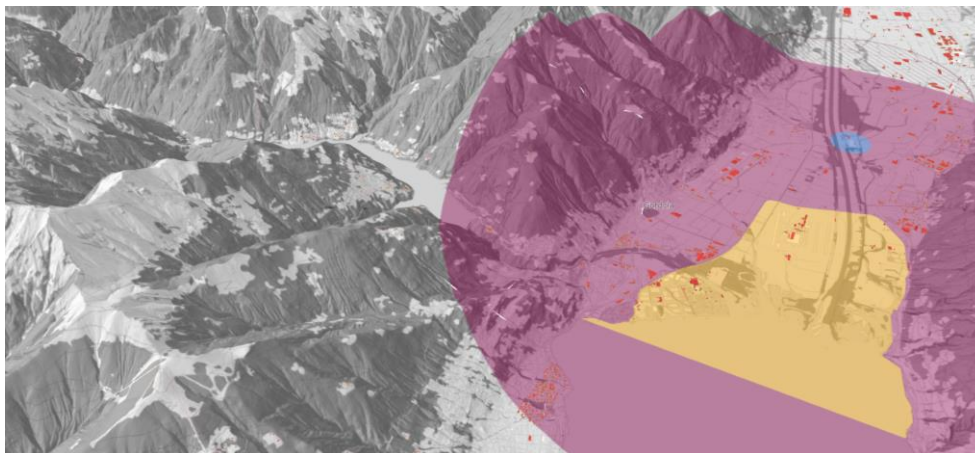


Obr. 7: Rozsah poškození po kolizi [20]

Prostor nehody se, krom ochranné zóny letiště, nachází také v přirozeném koridoru, tvořeném přilehlým terénem, který je hojně využíván k bezpečným odletům a sestupům vrtulníků do a z daného směru k letišti v Locarno.



Na obrázku (Obr.8) je zachycena fialově sbarvená ochranná zóna okolo letiště v Locarno, překrývající část přehrady a prostor hráze přehrady (ve středu obr.). [20]



Obr. 8 Ochranná pásma letiště promítnutá (fialové) do modelu terénu v okolí LSZL [20]

## 2.7 Kritické faktory ovlivňující úroveň bezpečnosti provozu dronů a letadel

V další části zpráva STSB [19] uvádí analýzu bezpečnosti provozu dronů, která identifikuje kritické faktory ovlivňující úroveň bezpečnosti společného provozu.

### 2.7.1 Rozpoznání dronu posádkou za letu

Vzhledem k rychlosti letu letadla je velmi obtížné zpozorovat dron ve vzdálenosti, která umožní včasný úhybný manévr. Standartně používané pravidlo „See & Avoid“ (pravidla o vyhýbání) je v daném případě nepoužitelné a přenesení povinnosti vyhnutí se spadá na pilota/operátora dronu. Za předpokladu, že dron není vybaven systémem pracujícím na principu ADS-B, tak jako v případě sblížení dronu a HB-IPT, dron není detekovatelný systémem TCAS, ani radarem ŘLP [19].

### 2.7.2 Provoz dronu VLOS

Je obtížné učit, zda se dron ještě nachází ve vzdálenosti od pilota/operátora, která umožňuje včasné a bezpečné vyhnutí prolétávajícímu letadlu. Vidět vlastní dron a znát jeho výšku nutně nemusí stačit k vyhodnocení relativní pozice dronu vůči okolnímu provozu.

Jako možné řešení v podobných situacích, kdy je let dronu plánován do prostorů v blízkosti letišť a letových koridorů, vidí autoři analýzy v provedení dostatečné a včasné koordinace s orgány řízení letového provozu,

ŘLP je schopno zajišťovat rozestupy ostatního provozu od dotčené oblasti. A To i v případě kdy jde o let dronu zasahující do řízeného okrsku (CTR nebo TMA) [19].

## 2.8 Následky způsobené kolizí

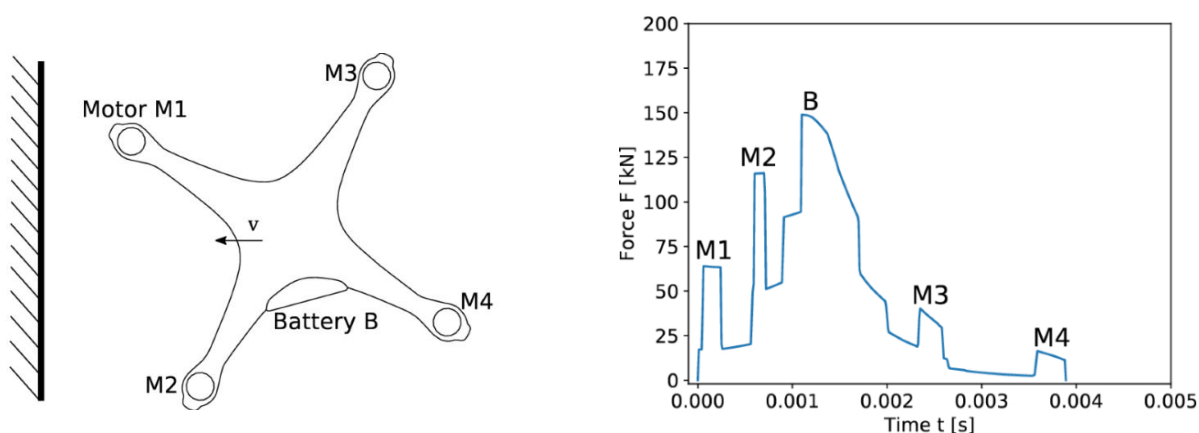
Následky kolize letounu, nebo vrtulníku s drony jsou považovány autory analýzy [19] za výrazně horší než kolize s ptáky. Dokládá to citovaná studie Amerických univerzit, provedená v roce 2017 spolu s FAA, za účelem vyhodnocení následků kolize dronu s letounem (ASSURE: Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence [21])

Relativní rychlosti letadla a dronu a také MTOM dronu mají zásadní vliv na velikost škod způsobených na konstrukci letadla. Při MTOM dronu 1,2 kg a rychlosti střetu blízké 100 kt je poškození konstrukce letadla trvalé. Při rychlosti sblížení okolo 250 kt je možné poškození primární částí konstrukce letadla [21].

Oproti kolizi letadla s ptákem je rozsah škod při kolizi dronu, i při nízkých rychlostech, větší. To je způsobeno druhem konstrukce a použitými materiály dronu, složených zejména z kompozitu a metalických částí pohonných jednotek, zatím co u ptáků je náraz tlumen odporem kapalin (až 70 %) a měkkých biologických tkání [21].

### 2.8.1 Drone Impact Model

K podobným závěrům dochází také skupina autorů studie analytického modelu nárazu dronu – Drone Impact Model [22], který zohledňuje také natočení kvadrokoptéry (DJI Phantom 4) vůči tělesu při nárazu. Analytický model počítá s úbytkem hmotnosti při kolizi dronu, tedy i se snižující se hybností zbývajících částí dronu. Celková doba nárazu je rozložena do několika milisekund, během nichž jednotlivé části dronu kolidují s objektem (letadlo). Vliv pootočení dronu vůči ose nárazu se projeví různě velkými silami, které na objekt působí. Jako příklad je uveden výpočet pro kolizi dronu a letadla o souhrnné rychlosti 156 m/s.



Obr. 9 Výpočet sil vzniklých při kolizi dronu DJI Phantom 4 s letounem [22]

### 2.8.2 Reálné dopady kolize

Jako příklad skutečných následků uvádím nehodu vrtulníku Bell Jet Ranger III [23] (Santo Domingo, Valparaiso, Chile). Dne 23. ledna 2021 došlo ke kolizi lehkého vrtulníku Bell chilského námořnictva a dronu DJI Mavic Air 2 (570 g) během rutinního letu podél pobřeží. Rychlost letu obou strojů je pouze odhadována na vysokou.

Došlo k přímému střetu, který zapříčinil proražení čelního ochranného plexiskla v místě levé sedačky, která při tomto letu nebyla obsazena. Dron pokračoval stále vysokou rychlostí do kabiny pro cestující, kde zasáhl mechanika do hlavy. Poranění byla po přistání ošetřena jako lehká. Nejsou známy přesné parametry letu.



*Obr. 10 Bell 206B po kolizi s dronem DJI Mavic Air 2 (Chile 2021) [23]*

## **2.9 Shrnutí třetí kapitoly**

V kapitole byla představena dosavadní opatření, zaváděná ke zvýšení bezpečnosti smíšeného provozu dronů s posádkou obsazenými letadly. Na základě předchozích zkušeností jsou odpovědnými úřady států v EU podporovány osvětové kampaně, školení pilotů dronů a jejich registrace. Evropská agentura pro bezpečnost v letectví se zaměřuje na ochranu letišť a činnost při incidentech způsobených drony v jejich okolí.

Současná pravidla počítají s dodržováním a zodpovědným přístupem pilota dronu, který zajistí bezpečný rozestup od okolního provozu a neohrozí osoby a objekty na zemi. To platí i v ostatních částech letového provozu. Avšak výstupy ze šetření příčin leteckých nehod a statistiky incidentů, použitých v této kapitole, poukazují na jistou úroveň nebezpečí, který společný provoz znamená.



Z pohledu bezpečnosti v současném letectví je tato hranice přinejmenším marginální. Výsledky průzkumů poukazují na výraznou míru nespolupráce provozovatelů dronů s požadavky na dodržování VLOS a maximálních limitů letového prostoru, stanovených pro danou oblast. Lidský faktor při nedodržování pravidel hraje významnou roli. Zároveň se v některých oblastech střetává platná legislativa s technickými a provozními limity. Za určitých podmínek pak může dojít k nehodě.

### 3 SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP K BEZPEČNOSTI A METODA STPA

Následující kapitola pojednává o provedení systémové analýzy metodou STPA. Jako pomůcka byla využita publikace STPA Handbook [24], která je zde citována.

#### 3.1 Systémová teorie a model STAMP

STAMP (System Theoretic Accident Model and Processes) je moderní metoda založená na principech systémové teorie, která je hojně využívána k odhalování možných příčin nehod. Nejedná se o analýzu, ale o model, pracující na základě úvah o možném sledu událostí, který mohl vést k nehodě. Systémová teorie nahlíží na systém jako na celek, spíše než na skupinu prvků. Každý systém pracuje za určitých podmínek. V případě, že se podmínky změní, může se změnit i práce systému. To se může projevit změnou vlastností vzájemných interakcí mezi prvky (např. nekompatibilita) a v konečném důsledku vést až k nehodě. [24].

Nehody jsou více než souhra událostí. Jsou způsobeny komplexními dynamickými procesy. Nehoda není selhání jednotlivce, ale pochybení systému kontroly. Předcházení nehodám pomocí bezpečnostních omezení chování komponent systému, během vzájemných interakcí, zachycuje příčiny nehod způsobené [24]:

- Selháním komponent
- Nebezpečnými interakcemi mezi komponenty
- Chováním člověka a stroje
- Návrhem systému
- Chybnými požadavky

Systémový přístup používá procesní model k určení kontrolních akcí. Nehody se objevují právě v místě, kde je chybný i procesní model. Rozpoznává čtyři nebezpečné kontrolní akce:



- Chybějící řídicí povel
- Chybný řídicí povel
- Nevhodné načasování povelů, přesto že jsou potenciálně bezpečné
- Kontrolní akce je přerušena příliš brzy nebo trvá příliš dlouho

Cílem je nalezení lidských a softwarových chyb, nevhodných interakcí prvků vedoucích k nehodě, nebo selhání prvků systému. Z pohledu metody STAMP jsou nehody zapříčiněny neadekvátním řízením. K nalezení příčin nehod využívá metodu CAST. Chyby v designu již v průběhu provozu, nebo před uvedením systému do provozu, se využívá metoda STPA [24].

### 3.2 STPA – System Theoretic Process Analysis

STPA je analytický nástroj, odvozený od STAMP. Snahou je předcházet nehodám již při tvorbě designu systému, pracuje i pro systém, který nemá ještě dostatek sledovaných historických dat. STPA Identifikuje nebezpečí (hazards) a stanovuje bezpečnostní omezení ke získání kontroly úrovně nebezpečí [24].

K nalezení chyb v systému se postupuje ve čtyřech krocích. Nejprve se identifikuje, co přesně představuje ztrátu (loss). Jsou definovány nebezpečné stavy (hazards), které mohou ke ztrátám vést. Stanovuje se, jak každému nebezpečnému stavu systému předcházet.

V druhém kroku je modelována struktura systému z pohledu průchodu řídicích povelů a zpětné vazby. Zachycuje se tak interakce prvků, nejprve na abstraktní úrovni a později do detailu. V průběhu modelování systému je možné se vrátit a provést úpravy ve všech krocích

Ve třetím kroku se hodnotí řídicí akce, jejich správnost, včasnost nebo doba trvání. Identifikují se ty z nich, které by mohly vést ke ztrátám, určeným v kroku 1.

V posledním kroku se zaměřuje na hledání příčin selhání a nedostatků. K vysvětlení je použito scénářů nebezpečného chování.

### 3.3 Identifikace nehod a ztrát na systémové úrovni – STPA krok 1.

**Definice** [24]:

**Nehoda (Accident)** je nechtěná nebo neplánovaná událost, která vyústí ve ztrátu (loss) a to včetně ztráty lidského života, zranění osob, škody na majetku, znečištění životního prostředí, nesplnění zadaného úkolu apod.

- Může být zapříčiněna vnějšími vlivy prostředí, které jsou mimo naši kontrolu.

**Nebezpečí (Hazard)** je stav systému kdy, za splnění určitých podmínek, dojde k nehodě.

- Úroveň nebezpečí můžeme řídit nastavením vhodných postupů v designu systému.



### 3.3.1 Určení systémových ztrát (Loss)

Před započítáním analýzy je třeba určit na co přesně se zaměřuje. Toho lze dosáhnout definováním cílů zúčastněných stran v systému. Hodnoty a cíle převedeme na konkrétní ztrátu [24].

Tab 5 Ztráty v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT

Ztráty	
L-1	Ztráta lidského života (letecká katastrofa)
L-2	Ztráta letecké techniky / zranění osob (letecká nehoda)
L-3	Sblížení vyžadující úhybný manévr a předčasné ukončení mise (vážný incident)

### 3.3.2 Určení systémového nebezpečí (Hazards)

Za nebezpečí můžeme považovat stavu systému, nebo podmínek, které vedou ke ztrátě (loss). Seznam lze později rozšířit na nebezpečí (hazards) a druhotná nebezpečí (sub-hazards) [24].

Tab 6 Nebezpečí v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT

Nebezpečí	
H-1	Nedodržení minimálních rozstupů vrtulníku a U/A [L-1, L-2, L-3]
H-1.1	Provoz U/A za hranicí schopnosti operátora reagovat na okolní letový provoz
H-1.2	Nedodržení maximální výšky nebo hranic vymezeného prostoru letu
H-1.3	Udělení letového povolení do obsazeného vzdušného prostoru
H-1.4	Plánovaný nebo známý provoz není zahrnut do předletové přípravy
H-1.5	Neoznámený provoz U/A v prostorech využívaných OAT lety

### 3.3.3 Určení systémových omezení

Tato omezení úzce specifikují podmínky nebo chování systému pro každé označené nebezpečí, které musí být splněny, aby bylo možno zabránit ztrátám [24].

Tab 7 Systémová omezení v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT

Systémová omezení	
SC-1	Minimální rozstup vrtulníku a U/A musí být vždy dodržen [H-1]
SC-2	Pilot operátor U/A musí zajistit správnou a včasnou reakci na okolní letový provoz. [H-1.1]
SC-3	Pilot musí dodržovat hranice přiděleného vzdušného prostoru [H-1.2]
SC-4	ŘLP nesmí udělit letové povolení do již obsazeného vzdušného prostoru [H-1.3]
SC-5	Plánovaný a známý provoz musí být zahrnut do předletové přípravy [H-1.4]
SC-6	provoz U/A v prostorech pro lety OAT musí být oznámen [H-1.5]

### 3.4 Zobrazení řídicí struktury – STPA krok 2.

Řídicí strukturu lze rozložit na vzájemně komunikující prvky. V analýze STPA jsou zachyceny vazby, které jsou možné. Nutně se nejedná o hierarchii nebo posloupnost spojení.

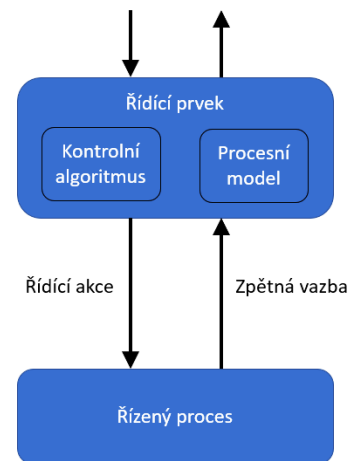
Každý z prvků, který rozhoduje na základě vlastního procesního modelu vydá povel neboli řídicí akci směrem k řízenému prvku. Po vykonání, předá řízený prvek zpětnou vazbu. Prvky mohou komunikovat i v horizontálním směru, vzájemně interagují [24] (Obr.11).

### 3.4.1 Řídicí struktura

Řídicí prvek poskytuje kontrolní akci k řízení procesu. Kontrolní algoritmus reprezentuje rozhodovací proces řídicího prvku. Procesní model představuje vnitřní přesvědčení (nebo domněnku) řídicího prvku o stavu řízeného procesu. Výstup z procesního modelu vstupuje do rozhodovacího procesu. Jde tedy o cyklus [24].

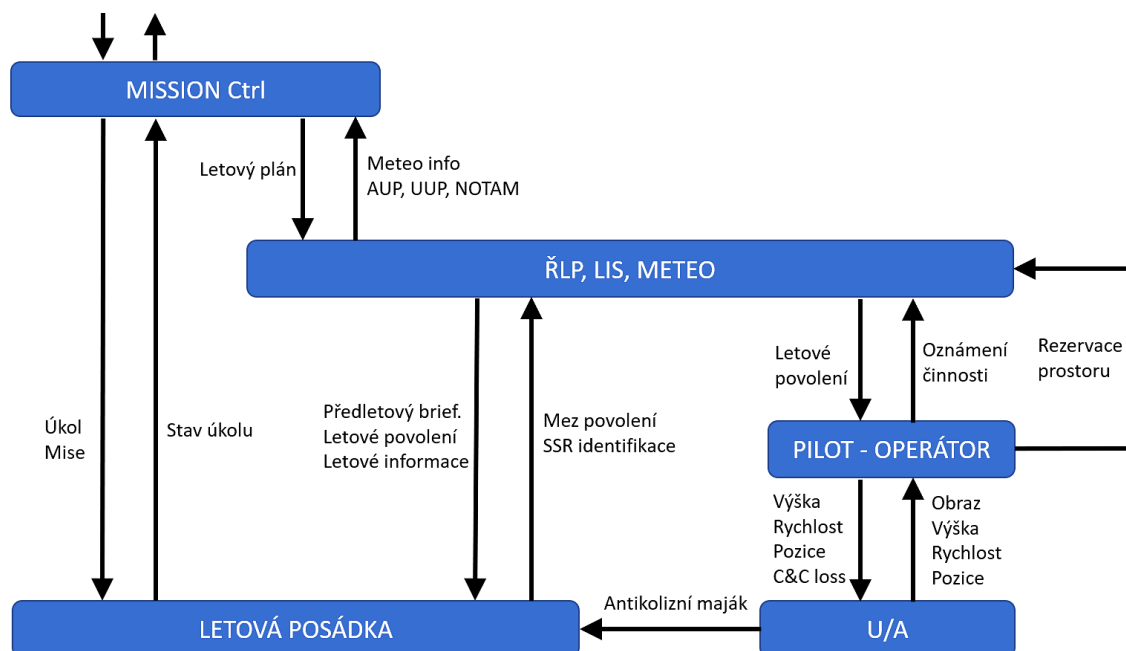
Nejprve jsou do relativně abstraktního modelu struktury vloženy všechny řídicí akce (svislé šipky seshora dolu). Přiblížením detailu vnitřního uspořádání jednotlivých procesů a jejich řídicích prvků dosáhne

Obr. 11 Princip řídicí struktury systému [24]



model komplexního zachycení struktury systému.

Následně je možné, na základě identifikace procesního modelu, nutného k provedení rozhodovacího procesu řídicího prvku, vložit jednotlivé zpětné vazby (svislé šipky zespod nahoru). Horizontálně orientované šipky představují nezávislou komunikaci mezi prvky (nepředstavuje řídicí akce ani zpětné vazby) [24].



Obr. 12 Řídicí struktura systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT



### 3.5 Identifikace řídicích akcí vedoucích k nebezpečí – STPA krok 3.

Řídicí akce mohou vést k nebezpečí právě když [24]:

- a) Řídicí akce není provedena (při nečinnosti)
- b) Řídicí akce je provedena nesprávně (při činnosti)
- c) Řídicí akce je provedena příliš brzy / příliš pozdě (v nevhodný čas)
- d) Řídicí akce je ukončena příliš brzy / je prováděna příliš dlouhou dobu (po nevhodnou dobu)

Tab 8 Řídicí akce vedoucí k nebezpečí v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT

Mission Control		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Úkol, mise	n/a	UCA-1 MSN Ctrl zadá úkol, vyžadující let v malé výšce, do prostoru obsazeném plánovaným letem U/A [H-1.2]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a

ŘLP, LIS, Služba METEO		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Předletový briefing	UCA-3 ŘLP nepředá informaci o plánovaném provozu U/A na trase nebo v pracovních prostorech [H-1.4]	n/a
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a

ŘLP, LIS, Služba METEO		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Letové povolení	n/a	UCA-4 ŘLP udělí letové povolení do požadovaného prostoru, který je využíván jiným uživatelem [H-1.3]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a





ŘLP, LIS, Služba METEO		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Letové informace	UCA-5 ŘLP nezjišťuje informaci o plánovaném provozu U/A v přidělených prostorech [H-1.4]	UCA-6 ŘLP poskytuje informaci o provozu v prostorech pro lety OAT vyjma provozu U/A [H-1.5]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a

Pilot-operátor		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Výška, rychlost, pozice U/A	UCA-9 Pilot-operátor nereaguje na potenciálně kolizní letový provoz [H-1]	UCA-10 Pilot-operátor není schopen vyhodnotit pozici dronu vůči potenciálně koliznímu provozu a změní parametry letu dronu do nevhodného směru při vyhýbání [H-1.1]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	UCA-11 Pilot-operátor reaguje pozdě na potenciálně kolizní letový provoz. [H-1]	UCA-12 Pilot-operátor provádí úhybný manévr setupem příliš krátkou dobu vzhledem k možné rychlosti sestupu U/A [H-1, H-1.1]

Pilot-operátor		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
C&C Loss (Nastavení akce při ztrátě spojení)	n/a	UCA-13 Pilot-operátor stanovuje trasu a výšku letu U/A, při ztrátě C&C link, mimo povolený prostor [H-1.1, H-1.2]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a

Pilot-operátor		
Kontrolní akce	Při nečinnosti	Při činnosti
Rezervace prostoru	UCA-7 Pilot-operátor nepodá požadavek na využití vzdušného prostoru dotyčného oblastního ŘLP [H-1.5]	UCA-8 Pilot-operátor podá požadavek na využití vzdušného prostoru neodpovídající skutečnému prostoru letu [H-1.2]
	V nevhodný čas	Po nevhodnou dobu
	n/a	n/a



### 3.5.1 Vytvoření korespondujících bezpečnostních omezení

Tab 9 Bezpečnostní omezení v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT

	Nebezpečné řídicí akce	Bezpečnostní omezení
Mission Control		
Úkol, mise	UCA-1 MSN Ctrl zadá úkol, vyžadující let v malé výšce, do prostoru obsazeném plánovaným letem U/A [H-1.2]	Let OAT musí být proveden v souladu s L1-6/4.6.1 odst. d/Minimální výška letu VFR (OAT)

	Nebezpečné řídicí akce	Bezpečnostní omezení
Pilot-operátor		
Rezervace prostoru	UCA-7 Pilot-operátor nepodá požadavek na využití vzdušného prostoru dotyčného oblastního ŘLP [H-1.5]	Pilot-operátor musí podat požadavek na využití vzdušného prostoru dotyčného oblastního ŘLP nebo oznámení činnosti [H-1.5]
	UCA-8 Pilot-operátor podá požadavek na využití vzdušného prostoru neodpovídající skutečnému prostoru letu [H-1.2]	Pilot-operátor musí podat požadavek na využití vzdušného prostoru odpovídající skutečnému prostoru a času letu [H-1.2]
Výška, rychlost, pozice U/A	UCA-9 Pilot-operátor nereaguje na potenciálně kolizní letový provoz [H-1]	Pilot-operátor musí reagovat vyhnutím se na potenciálně kolizní letový provoz [H-1]
	UCA-10 Pilot-operátor není schopen vyhodnotit pozici dronu vůči potenciálně koliznímu provozu a změni parametry letu dronu do nevhodného směru při vyhýbání [H-1.1]	Pilot-operátor musí být schopen vyhodnotit pozici dronu vůči ostatnímu provozu a zajistit bezpečný rozestup [H-1, H-1.1]
	UCA-11 Pilot-operátor reaguje pozdě na potenciálně kolizní letový provoz. [H-1]	Pilot operátor musí být schopen vyhodnotit pozici dronu vůči potenciálně koliznímu provozu a včas uvolnit dráhu letu OAT bez ohrožení jiného letadla nebo osob na zemi [H-1, H-1.1]
	UCA-12 Pilot-Operátor provádí úhybný manévr setupem příliš krátkou dobu vzhledem k možné rychlosti sestupu U/A = nedostatečná změna výšky letu U/A [H-1, H-1.1]	Pilot operátor musí být schopen vyhodnotit pozici dronu vůči potenciálně koliznímu provozu a včas uvolnit dráhu letu OAT bez ohrožení jiného letadla nebo osob na zemi [H-1, H-1.1]
C&C L. loss (Nastavení akce při ztrátě spojení)	UCA-13 Pilot-operátor stanovuje trasu a výšku letu U/A, při ztrátě C&C link, mimo povolený prostor [H-1.1, H-1.2]	Pilot operátor musí zajistit dodržení hranic určeného prostoru při automatizované činnosti U/A v případě ztráty spojení (Command & Control Link Loss) [H-1.1, H-1.2]



	Nebezpečné řídicí akce	Bezpečnostní omezení
ŘLP, LIS, Služba METEO		
Předletový briefing	UCA-3 ŘLP nepředá informaci o plánovaném provozu U/A na trase nebo v pracovních prostorech [H-1.4]	ŘLP musí prezentovat dostupné informace o plánovaném provozu U/A v MCTR a dotčených prostorech, případně na trati mimoletištního letu a pracovních prostorech [H-1.4]
Letové povolení	UCA-4 ŘLP udělí letové povolení do požadovaného prostoru, který je využíván jiným uživatelem [H-1.3]	ŘLP nesmí udělit letové povolení do požadovaného prostoru, který je využíván jiným uživatelem [H-1.3]
Letové informace	UCA-5 ŘLP nezjišťuje informaci o plánovaném provozu U/A v přidělených prostorech [H-1.4]	ŘLP zjišťuje a aktualizuje informaci o provozu U/A v přidělených prostorech [H-1.4]
	UCA-6 ŘLP poskytuje informaci o provozu, v prostorech pro lety OAT, vyjma provozu U/A [H-1.5]	ŘLP zjišťuje a aktualizuje a předává informaci o provozu U/A v přidělených prostorech [H-1.5]

### 3.6 Nalezení příčiny a identifikace scénářů vedoucích k nebezpečí nebo ztrátě – STPA krok 4.

#### 3.6.1 Určení příčiny nebezpečného chování

[24] Řídicí cyklus (popsaný v části 4.4.1 Řídicí struktura) lze rozdělit na čtyři oblasti, ve kterých lze hledat příčinu selhání (Typ I, II, ...). Pro každou oblast může nastat několik různých situací (a, b, ...)

**Typ I** – Nebezpečné chování řídicího prvku

- a) Selhání řídicího prvku (fyzické)
- b) Vadný řídicí vstup
- c) Neadekvátní procesní model
- d) Neadekvátní řídicí algoritmus

**Typ II** – Neadekvátní zpětná vazba, vadné informace

- a) Zpětná vazba / informace chybí
- b) Vadná zpětná vazba / informace



**Typ III – Nesprávná řídicí cesta**

- a) řídicí akce (povel) nebyla předána
- b) řídicí akce (povel) byla předána chybně

**Typ IV – Vadný řízený proces**

- a) řídicí akce nebyla vykonána
- b) řídicí akce byla provedena chybně

**3.6.2 Identifikace scénářů**

[24] K tvorbě scénářů používáme dvou hlavních úhlů pohledu na nebezpečné chování/akce

- a) Proč k nebezpečnému chování (řídicí akci) dochází?
- b) Proč by měla být řídicí akce:
  - vykonaná nesprávně?
  - vedoucí k nebezpečí?
  - nebo neměla být provedena vůbec?



## 4 PREZENTACE VÝSLEDKŮ

Výstupem STPA je nalezení příčiny nebezpečného chování uvedené do kontextu pomocí vysvětlujícího scénáře.

Tab 10 Nebezpečné chování řídicích prvků v systému smíšeného provozu U/A a vrtulníků OAT, příčiny a vysvětlující scénáře. Rozdělení dle typu a druhů

Typ I – Nebezpečné chování řídicího prvku		
Řídicí akce	Nebezpečné chování řídicího prvku	Neadekvátní procesní model
Předletový briefing	UCA-3 ŘLP nepředá informaci o plánovaném provozu U/A na trase nebo v pracovních prostorech [H-1.4]	Zpracování rezervace vzdušného prostoru probíhá mezi pilotem operátorem a ŘLP ČR. Dotčená regionální stanoviště LIS jsou kontaktována pilotem-operátorem až před zahájením letu U/A.
	<b>Příčina</b>	<b>Scénář 1</b>
	ŘLP ČR nekontaktuje regionální stanoviště LIS s dostatečným předstihem. Současná legislativa nezavazuje stanoviště LIS k vyhodnocování rezervace prostorů letu dronů v aplikaci Droneview.	Plánování letu zahrnuje informace publikované regionálním stanoviště LIS o překážkách a využití prostorů. Plánovaná trasa mimoletištního letu skupiny vrtulníků nerespektuje vyžadovaný prostor provozu U/A [H-1.2]. Let bude proveden dle pravidel OAT pod hranicí minimální výšky 120 m n. t.

Typ I – Nebezpečné chování řídicího prvku		
Řídicí akce	Nebezpečné chování řídicího prvku	Neadekvátní řídicí algoritmus
Výška, rychlost, pozice U/A, Nastavení akce při ztrátě C2	UCA-10 Pilot-operátor není schopen vyhodnotit pozici dronu vůči potenciálně koliznímu provozu a změnit parametry letu dronu do nevhodného směru při vyhýbání [H-1.1]	Překročení vzdálenosti U/A za hranici hloubkové perspektivy zraku pilota-operátora nebo poučené osoby. Řízení U/A jen na základě výstupů z FPV kamery a mapového software.
	<b>Příčina</b>	<b>Scénář 2</b>
	Nedodržení vzdálenosti, na kterou je pilot-operátor schopen rozpoznat polohu U/A vůči okolnímu letovému provozu a překážkám. Neschopnost pilota / poučené osoby správně vyhodnotit pozici a výšku letadla.	Let skupiny vrtulníků dle OAT probíhající pod výškou 120 m n. t. probíhá v blízkosti prostoru využívaným pro let U/A. Dojde k nedodržení minimálních rozstupů [H-1]. Pilot-operátor reaguje na první zpozorovaný vrtulník na základě pokynu od poučené osoby. Není schopen současně vyhodnotit trajektorii dalších vrtulníků prolétávajících prostorem [H-1.1]



Typ II – Neadekvátní zpětná vazba		
Řídící akce	Nebezpečné chování řídicího prvku	Zpětná vazba / informace chybí
Letové povolení	UCA-4 ŘLP udělí letové povolení do požadovaného prostoru, který je využíván jiným uživatelem [H-1.3]	Pilot-operátor neoznámí ŘLP provoz U/A v MCTR do výšky 100 m n.t. nebo do výšky dle respektující ochranná pásma (gridový systém).
	Příčina	<b>Scénář 3</b>
	Legislativa komunikaci mezi operátorem a ŘLP pouze doporučuje. Dokud nedojde k překročení MTOM > 0,91 kg, nebo k letu uvnitř ochranných pásem letiště. Let dronu musí být VLOS (EVLOS), Za rozestup od provozu OAT odpovídá pilot-operátor.	ŘLP udělí letové povolení k provádění taktického výcviku v přistání do terénu vrtulníku OAT v MCTR. ŘLP nemá informaci o aktivním provozu U/A. Neoznámený provoz není možné zahrnout do předletové přípravy [H-1.4]. Rychlost letu vrtulníku, rozhledové poměry pilota-operátora a vzdálenost U/A od operátora omezí jeho reakci. Dojde k nedodržení minimálních rozstupů vrtulníku a U/A [H-1].

Typ III – Nesprávná řídicí cesta
Nebyla nalezena nebezpečná akce v této kategorii.

Typ IV – Selhání řízeného prvku		
Řídící akce	Požadovaná akce nebyla provedena	Příčina
Výška, rychlost, pozice U/A	UCA-9 Pilot-operátor nereaguje na potenciálně kolizní letový provoz [H-1]	Výstup výšky/polohy U/A, relativní vůči okolnímu provozu, není sledován operátorem. Lidský faktor
	<b>Scénář 4</b>	
	Pilot operátor dronu (MTOM < 0,91 kg) předpokládá že je "chráněn" výškou letu dronu do maximálního limitu v dané části MCTR. Prováděný let OAT zasahuje do výšky 15 m n.t. a menší v případě přistání do terénu. Dojde k nedodržení minimálních rozstupů vrtulníku a U/A [H-1].	

Typ IV – Selhání řízeného prvku		
Řídící akce	Akce byla provedena nesprávně	Příčina
Výška, rychlost, pozice U/A	UCA-12 Pilot-Operátor provádí úhybný manévr setupem příliš krátkou dobu vzhledem k možné rychlosti sestupu U/A [H-1, H-1.1]	Maximální vertikální rychlost dronu při stabilizovaném sestupu neumožní provedení včasného úhybného manévru.
	<b>Scénář 5</b>	
	Rozhledové poměry pilota-operátora umožní včasnou reakci na prolétávající provoz. Vzhledem k obtížnosti odhadu směru jeho letu vůči dronu se rozhodne k manévru sestupem. Vertikální rychlost klesání dronu je omezena. Dron není viditelný pro posádku vrtulníku. Dojde k nedodržení minimálních rozstupů vrtulníku a U/A [H-1].	



## 5 DISKUZE VÝSLEDKŮ

### 5.1 Navrhovaná opatření

- a) Úprava OOP LKR10 – UAS
- b) Zavedení povinnosti použití rozlišovacích světel (majáků)
- c) Vytvoření podmínek pro implementaci U-Space do LKAA

### 5.2 Úprava OOP z 30. 12. 2020 LKR10 – UAS

Na základě scénářů 3 a 4 z výsledků STPA je možné identifikovat nedostačující komunikaci mezi pilotem operátorem a letištním ŘLP. Situační povědomí stanoviště řízení letového provozu o prováděné letové činnosti v nejnižších patrech řízeného okrsku bez ohlášení je nulové.

Tento nedostatek vyplývá z platné legislativy ČR, konkrétně OOP 2020 [5], který zbavuje lety dronů do MTOM 0,91kg v CTR a MCTR, prováděné do výšky 100 m n. t. a zohledňující ochranná pásma letiště, povinnosti koordinovat provedení letu s ŘLP.

Prostor letu je vybírán na základě požadavků pilota operátora dronu nad zájmovou oblastí zasahující z části, nebo zcela, do MCTR. Plánování provozu dronu probíhá za použití nástrojů schválených Úřadem (AIS VIEW, DRON VIEW, AIP, AUP), v dostatečném předstihu před zahájením letu. Pokud plánovaná výška letu a použitý typ dronu vyhovují požadavkům Úřadu na provoz, není požadována další koordinace s ŘLP. Není požadováno udělení letového povolení. Let je proveden bez nutnosti oboustranného spojení a/nebo vybavení odpovídačem SSR.

Služba řízení letového provozu poskytuje Informace posádkám letů OAT bez toho, aniž by zahrnovala provoz UA a uděluje letové povolení k využití kterékoliv části MCTR v rozsahu od země do horní hranice MCTR. Takto udělené letové povolení **je oprávněné**.

K podobnému závěru dochází také autoři Analýzy bezpečnosti provozu dronů [19] STSB. Jako možné řešení v podobných situacích, kdy je let dronu plánován do prostorů v blízkosti letišť a letových koridorů, vidí autoři analýzy v provedení dostatečné a včasné koordinace s orgány řízení letového provozu.

ŘLP je schopno zajišťovat rozestupy ostatního provozu od dotčené oblasti. A To i v případech kdy jde o let dronu zasahující do řízeného okrsku [19].

Za současných podmínek je zajištění rozestupů mezi provozem dronu a OAT vrtulníky plně na zodpovědnost pilota-operátora dronu. To je založeno na jeho schopnosti rozpoznat blízkost vrtulník nebo letoun OAT a následném vyhodnocení relativní pozice UA a okolních překážek. Na základě pozorování z pozice na zemi musí pilot-operátor provést adekvátní



zásah do trajektorie letu UA v dostatečně krátkém čase tak, aby nedošlo ke kolizi UA s letounem (letouny) nebo objekty na zemi. Kvalita a rychlost zásahu pilota operátora je podmíněna dobrými rozhledovými poměry ze stanoviště, případně zda je doprovázen dostatečně proškolenou osobou – pozorovatelem, který může poskytnout cenné varování v předstihu. Zásadní je také úroveň automatizace letu samotného dronu, kvalita spojení s ovládací stanicí a v neposlední řadě také zkušenost samotného pilota operátora.

Prostor činnosti dronů v MCTR převyšuje minimální výšku letu OAT, 15 m respektive 3 m AGL (Let 1-6/L2 [6]). Není tedy možné považovat plošně stanovenou výškovou separaci provozu za dostačující, natož za bezpečnou. Pilot operátor UA se řídí platnou legislativou, posádka vrtulníku postupuje dle vydaného letového povolení. Prostory, ve kterých se pohybují se však ve velké míře překrývají a jejich vzájemná pozice jim není známa.

Využití části nebo celého MCTR k provádění výcvikových letů dle osnovy výcviku vojenských vrtulníků a letounů dochází pravidelně. Lety OAT jsou prováděny v nízkých a přízemních výškách, zahrnují také nácvičky přistání a vzletů z nezpevněných ploch a ploch které nejsou letištěm. Lety OAT vrtulníků se vyznačují také náhlou změnou výšky letu spojené s manévrem oproti zájmovému bodu tak, že z pohledu nezávislého pozorovatele (pilota-operátora dronu) je odhad budoucího směru, výšky a rychlosti letu vrtulníku velice nejistý. To může mít zásadní vliv na schopnost pilota-operátora se provozu OAT bezpečně vyhnout i při dodržení podmínky provozu VLOS.

### **5.2.1 Aplikace pravidel letu dronu v TRA pro MCTR**

Velmi podobný je i charakter letů OAT v TRA, ve kterých jsou však pravidla pro vstup jiných uživatelů striktnější a neumožňují vstup jiných letadel, včetně dronů, bez předchozí koordinace s ŘLP. Může dojít k přidělení části vzdušného prostoru pro cizí provoz žadatele nebo zamezení vstupu po dobu nezbytně nutnou. Na rozdíl od prostorů TSA, kde je segregace vojenského provozu úplná, je vstup do TRA žadateli umožněn. Podmínkou je dohovor s původním oprávněným uživatelem cestou ŘLP přes hlasovou radiokomunikaci v reálném čase, za účelem maximálně vyhovět oběma zúčastněným stranám.

Zavedením pravidel vyžadujících koordinaci mezi žadatelem, uživatelem a místním stanovištěm řízení letového provozu v MCTR může dojít ke snížení možnosti incidentu nebo letecké nehody vyplývající z výše uvedených poznatků použitého scénáře nebezpečného chování prvků v systému. Legislativní úprava požadavků na zajištění rozestupů nebo informace o provozu pro všechny uživatele ve všech MCTR v ČR se dotkne poměrně malého území, avšak značného počtu letů OAT. Dojde tak pravděpodobně k výraznému zvýšení





bezpečnosti provozu, při zachování hranic již stanovených prostorů s minimálními dopady na samotný provoz dronů nebo okolní GAT provoz.

### **5.3 Použití rozlišovacích světel (majáků) a kontrastního zbarvení dronů**

Traťové a letištní lety vrtulníků OAT prováděné ve výškách pod 150 m AGL snižují počet manévru pro vyhýbání s letadly GAT využívající stejnou hladinu. Umožňují plynulý a přímý přesun do zájmového prostoru. Let v malé výšce vyžaduje zvýšenou pozornost posádky vůči výškovým objektům a terénním překážkám. Typicky se jedná o lineární stavby vedení vysokého napětí, osamocené stožáry a telefonní pokrývače/antény. K dokreslení povědomí o rozmístění výškových objektů na trati letu je používán podrobný mapový software s aktualizovanou databází. Vyhledávání překážek a ostatního provozu je věnováno maximální úsilí všemi členy posádky během celého letu.

V současné legislativě není zaveden požadavek na použití antikolizního majáku ke zvýraznění pozice dronu ani v podmínkách za snížené viditelnosti, v přechodu denní doby a mezi občanským soumrakem a svítáním. Vyjma použití zdroje zeleného světla blíže nespecifikované intenzity, které bude viditelné z pozice pilota operátora ze země,

Jako možné řešení vedoucí ke zvýšení bezpečnosti letu lze, na základě scénářů 1. – 5. z výstupů STPA, je možné zahrnutí posádky vrtulníku do řešení situací vedoucích ke nebezpečnému sblížení.

Z pohledu posádky vrtulníku při letu v malé nebo přízemní výšce je možné vizuálně rozpoznat dostatečně kontrastní objekt pohybující se v zorném poli na tmavém pozadí terénu nebo tmavé části oblohy. Použití zábleskového světla s dostatečnou svítivostí a nepravidelnými záblesky zvýrazní pozici dronu a umožní včasnou reakci změnou dráhy letu. Podobný efekt může zajistit dostatečně kontrastní zbarvení dronu na jeho horní straně.

#### **5.3.1 Podpora v legislativě**

Z pohledu legislativy je použití protisrážkového majáku požadováno u všech letadel. Jak je uvedeno v nařízení (EU) 923/2013, v části SERA.3215, odstavec c [25], kde se tato povinnost vztahuje také na lety ve dne. Přestože UA do MTOM 25 kg do kategorie letadel nespádají. Je přinejmenším na místě poukazovat na nutnost zvýšení bezpečnosti letu pro ostatní uživatele vzdušného prostoru, kteří se snadno mohou dostat do situace, kdy včasným vyhýbáním mohou zabránit kolizi. A to bez ohledu na to, zda znají nebo neznají MTOM objektu, který se jim náhle ocitne před pilotní kabinou.



## 5.4 Pozorování dronu vybaveným antikolizním majákem

K ověření hypotézy byla, v období od 20. do 24. července, provedena série zkušebních letů dronu vybaveným zdrojem světla, za účelem zjištění kvality pozorování na různých vzdálenostech, v průběhu denní a noční doby.

**Autoři:** Ing. Kratochvíl Vilém a Pokorný Jan

**Lokalita:** Ostrovačice, okres Brno

**Motivace:** Série zkušebních testů byla provedena za účelem ověření tvrzení: „Označení letícího dronu zábleskovým majákem může napomoci posádce nízkoletícího vrtulníku k provedení úhybného manévru a vyhnutí se kolizi.“

**Použitá metoda:** Pozorování letícího dronu vybaveného zdrojem světla ve stanovených vzdálenostech. Pořízení fotodokumentace ze statické pozice na zemi a pořízení záznamu subjektivního hodnocení schopnosti zjistit přítomnost cizího objektu v ose pozorování. Úpravou výšky letu dronu vůči pozici pozorovatele bylo dosaženo, pozorování dronu vůči rozdílně kontrastnímu pozadí, nutné k napodobení výhledu posádky vrtulníku, pohybujícího se v malé nebo přízemní výšce.

- a) Poloha dronu níže vůči ose pozorování nebo na její úrovni
- b) Poloha dronu nad úrovní osy pozorování

Pro srovnání výsledků byla provedena druhá série letů bez použití světelného zdroje po stejných trasách a ve srovnatelných světelných podmínkách.

Všechny lety byly provedeny s ohledem na platnou legislativu registrovaným pilotem s použitím registrovaného dronu, ve vzdušném prostoru třídy G do výšky 120 m a za stálé viditelnosti dronu (VLOS). Během letů nebyly přelétávány nezúčastněné osoby. Byla dodržena všechna ochranná pásma liniových staveb a obydlených oblastí, nejméně dle pravidla 1:1 L:H.

Použité vybavení:

**Dron:** DJI Mini II (MTOM 249 g)

**Zdroj světla:** cyklistické světlo přední (hmotnost 25 g) vybavené vlastním akumulátorem s aktivní svítící plochou 35 x 7 mm, složenou z 10 x LED o celkovém světelném toku 60 lm.

**Fotoaparát:** SONY NEX-3N, objektiv SONY E PZ 16-50mm F3.5-5.6 OSS, ohnisková délka 50 mm (Ekvivalent 35 mm = 75 mm)



Obr. 13 Použité vybavení pro zkušební lety – DJI Mini II a zdroj světla

#### 5.4.1 Let I. - ve dne, dron v pohybu bez převýšení

> imitace výhledu na **dron v pohybu** s bílým stroboskopickým zdrojem světla, viditelné ze stran a shora při letu vrtulníku ve stejné nebo větší výšce <

**Čas letu:** 14:30 – 14:45 SELČ

**Situace:** dohlednost 10 +, pokrytí 4/8 kupovité nízké oblačnosti a 4/8 střední oblačnosti, během středu dne, slunce vysoko

**Výška letu:** s převýšením 0 m QFE, konstantní

**Dráha letu:** vzlet od místa pozorovatele – směr letu JZ do vzdálenosti 350 m a zpět, zastavení pohybu ve vzdálenosti 100 m od místa vzletu, potom každých 50 m až do místa kdy bylo pozorované světlo takřka nezřetelné. Potom zpětný kurz a kontinuální pohyb zpět.

**Výhled:** proti tmavému horizontu při světlé obloze

**Horizontální osa letu dronu:** odchylka do 15° od osy fotoaparátu

**Pozadí:** tmavý les



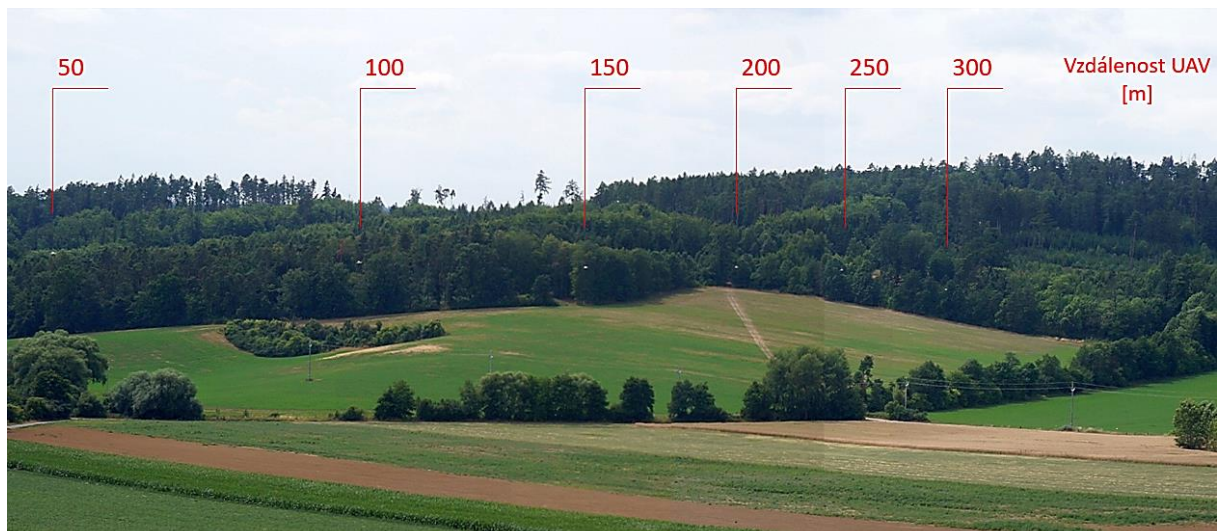
Tab 11 záznam pozorování – let 1

Viditelnost	Vzdálenost dronu [m]									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
barva / silueta dronu	středně		slabě	-						
zdroj světla	silně			středně		slabě	-			
hodnocení	snadné zachytit pohyb			viditelný (pokud v pohybu)			splývá s okolím			

**Pozn:** Laterální pohyb dronu, relativní vůči ose pozorování, je zvýrazňujícím faktorem. Pokud statický může splývat s okolními, podobně zbarvenými, předměty

Na obrázku (Obr.14, dole) jsou uvedeny hodnoty doby potřebné k překonání vzdálenosti pozorování při rychlostech letu imaginárního vrtulníku (odpovídající běžně používaným typům) získané dosazením do rovnice a.

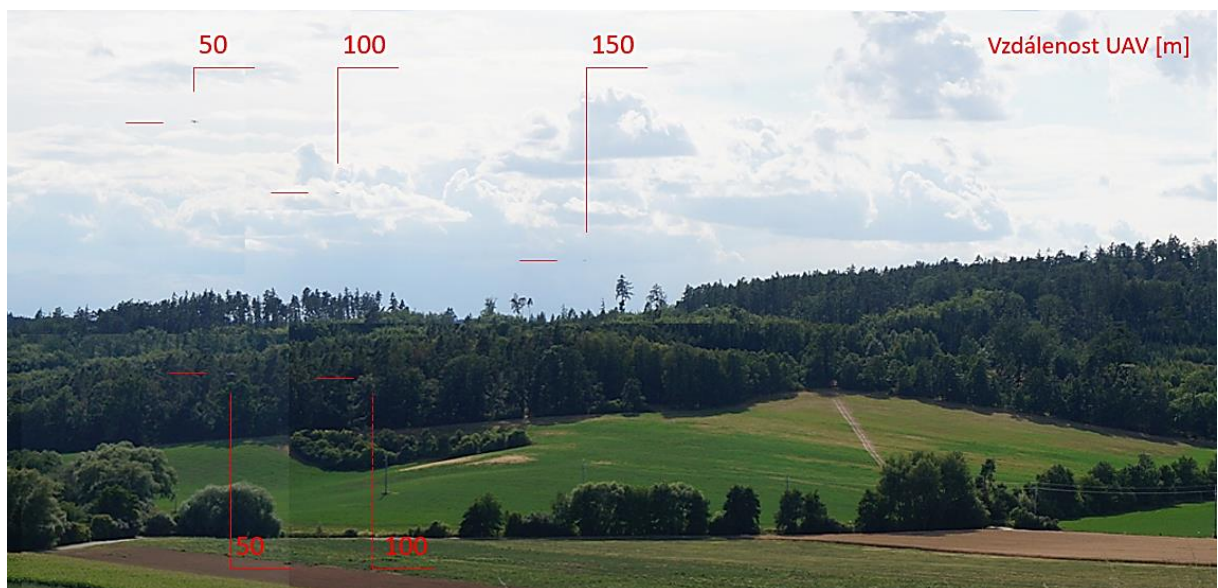
$$a) \quad t [s] = \frac{\text{vzdálenost ke dronu [m]}}{\text{rychlost letu vrtulníku [\frac{m}{s}]}}$$



1	2	3	4	5	6	Doba letu při $v = 180 \text{ km/h}$ [s]
0,75	1,5	2,25	3	3,8	4,5	Doba letu při $v = 240 \text{ km/h}$ [s]

Obr. 14 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 1

**Kontrolní let:** bez použití zdroje světla s a bez převýšení, pozadí les, obloha



Obr. 15 Kontrolní let 1 bez zdroje světla



## 5.4.2 Let II. - ve dne, dron ve visu bez převýšení

> imitace výhledu na **dron v režimu visení** s bílým stroboskopickým zdrojem světla, viditelné ze stran a seshora při letu vrtulníku ve stejné nebo větší výšce <

**Čas letu:** 14:50 – 15:05 SELČ

**Situace:** dohlednost 10 +, pokrytí 4/8 kupovité nízké oblačnosti a 7/8 střední oblačnosti, během středu dne, slunce vysoko

**Výška letu:** s převýšením 0 m QFE, konstantní

**Dráha letu** vzlet od místa pozorovatele – směr letu Z do vzdálenosti 250 m a zpět, zastavení pohybu ve vzdálenosti 250 m od místa vzletu, potom zpět k pozorovateli se zastavením každých 50 m až do vzdálenosti 5 m

**Výhled:** proti tmavému horizontu při světlé obloze

**Horizontální osa letu dronu:** odchylka do +/-1° od osy fotoaparátu

**Pozadí:** tmavý les, světlé pole, silnice s pohybujícími se vozidly

Tab 12 Záznam pozorování – let 2

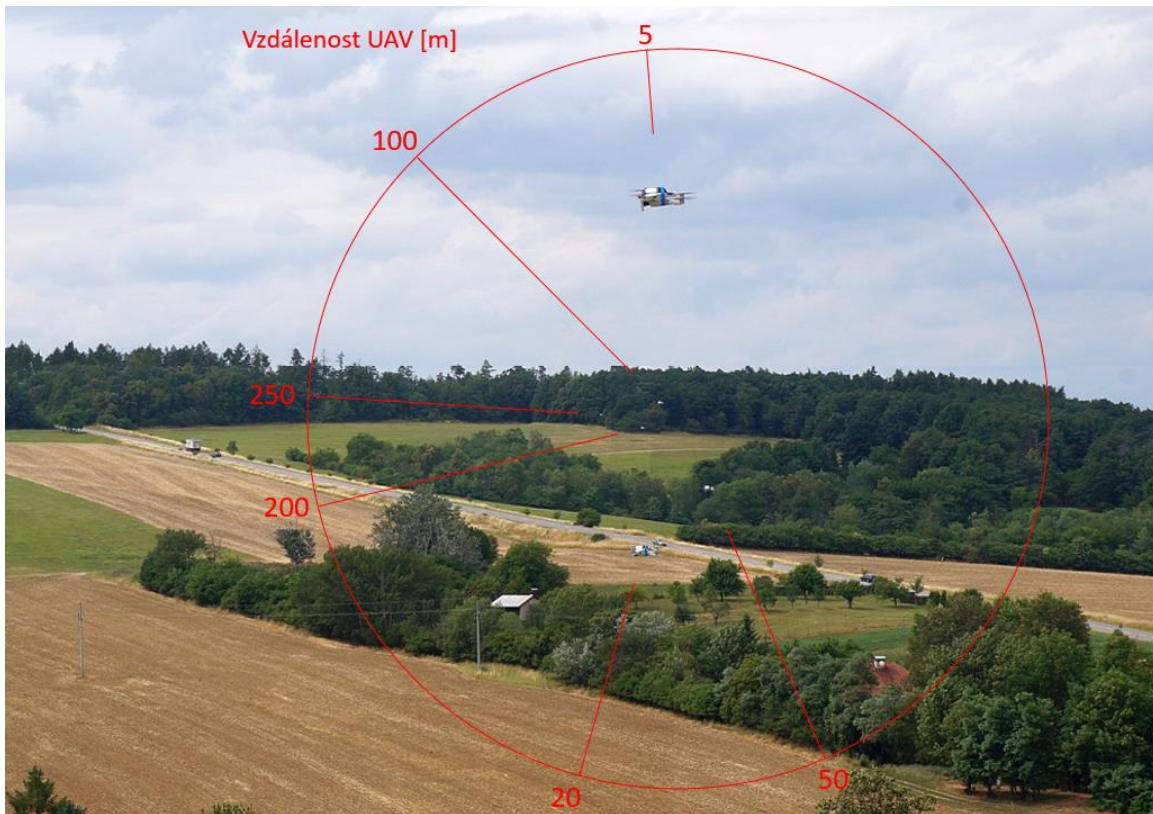
Viditelnost	Vzdálenost dronu [m]									
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
barva / silueta dronu	středně	slabě	-							
zdroj světla	silně	středně	slabě	-						
hodnocení	A		B		C					-

A – prudká změna z "viditelný" na "výrazný"

B – bez pohybu nebo frekvence blikání snadno zaměnitelný s objekty na pozadí (silnice, auta)

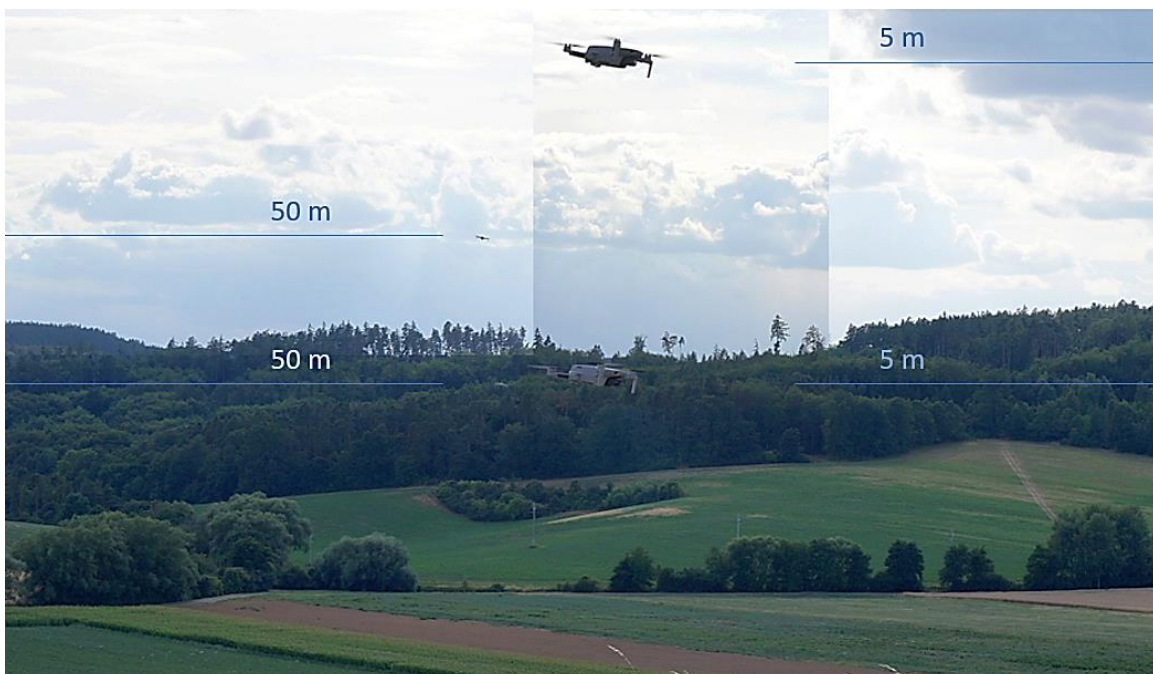
C – splývá s okolím

**Pozn:** Souosost pohybu dronu a osy pozorování vzbuzuje iluzi statického visení dronu, při pohledu z vrtulníku letícím v kolizním kurzu.



Obr. 16 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 2

**Kontrolní let:** bez použití zdroje světla na referenční vzdálenosti s a bez převýšení.



Obr. 17 Kontrolní let 2 bez zdroje světla



### 5.4.3 Let III. – ve dne, dron ve visu s převýšením

> imitace výhledu na **dron ve visu** s bílým stroboskopickým zdrojem světla, viditelné ze stran a seshora při letu vrtulníku ve menší nebo stejné výšce <

**Čas letu:** 19:58 – 20:05 SELČ

**Situace:** dohlednost 10 +, pokrytí 4/8 kupovité nízké oblačnosti a 4/8 střední oblačnosti, na konci dne, šikmé slunce v zádech pozorovatele

**Výška letu:** s převýšením 20 m QFE, konstantní

**Dráha letu:** vzlet od místa pozorovatele – směr letu JV do vzdálenosti 900 m a zpět, zastavení pohybu ve vzdálenosti 100 m od pozorovatele, potom každých 100 m až do místa kdy bylo pozorované světlo takřka nezřetelné. Potom zpětný kurz a kontinuální pohyb zpět.

**Výhled:** proti nasvícené krajině při neutrální obloze

**Horizontální osa letu dronu:** odchylka do 5° od osy fotoaparátu

**Pozadí:** tmavnoucí obloha, rozpadající se kupovitá oblačnost

Tab 13 Záznam pozorování – let 3

Viditelnost	Vzdálenost dronu [m]															
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
barva / silueta dronu	viditelný		slabě	-												
zdroj světla	silně			středně			Slabě / velmi slabě 800–1200 m									
hodnocení	A			B						C						

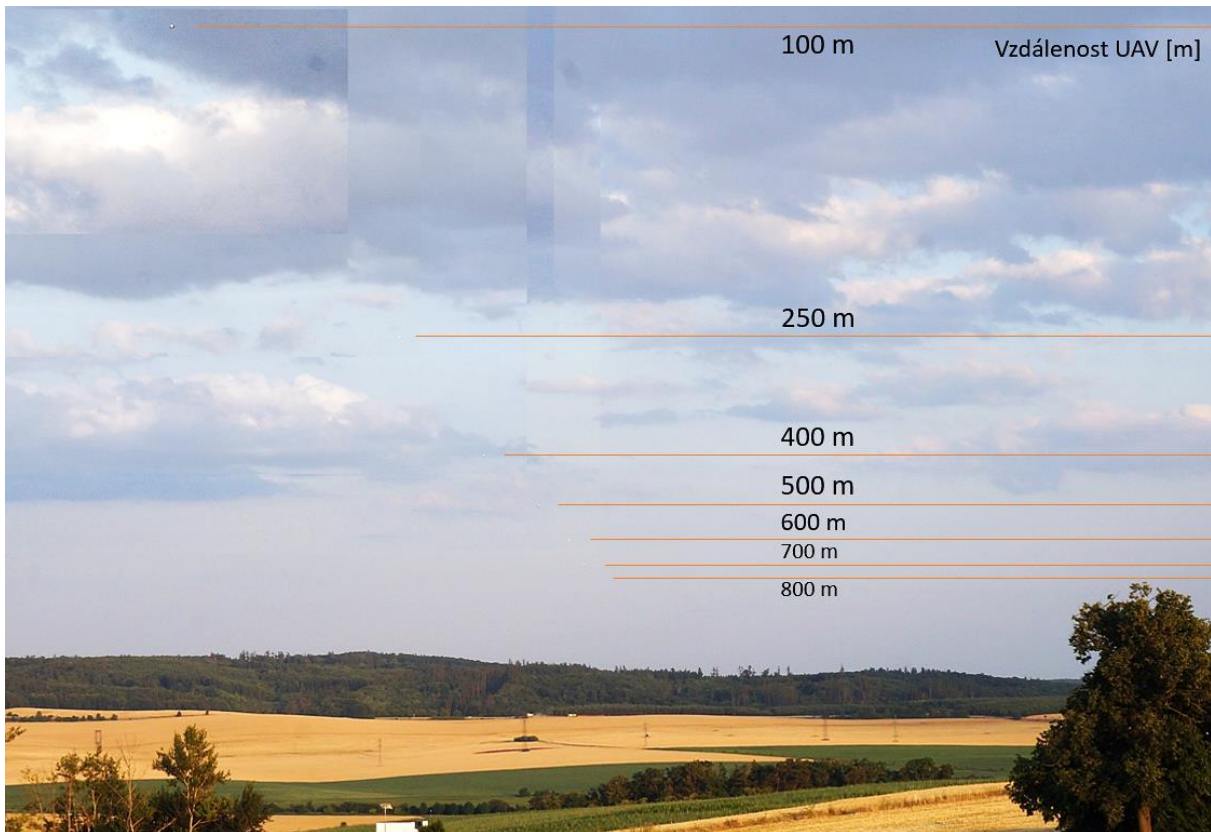
A – výrazný

B – viditelný, snadno přehlédnutelný bílý bod

C – snadné přehlédnout, splývá s okolím

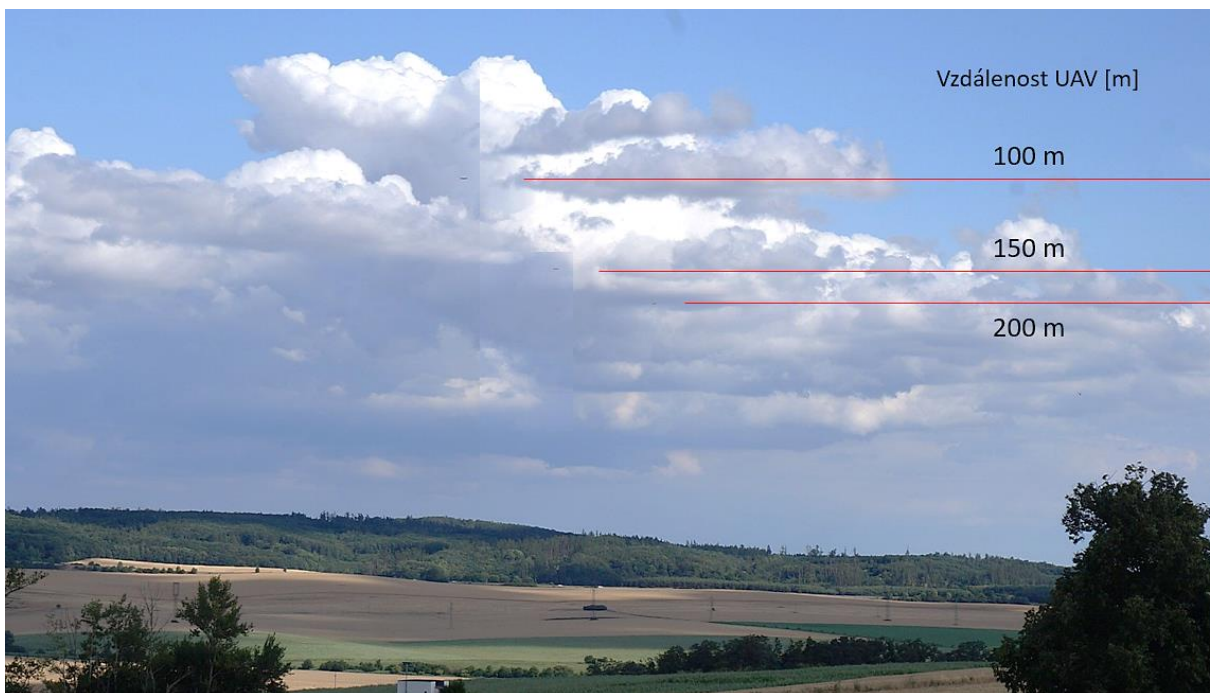
} s tmavnoucím pozadím se viditelnost zlepšuje





Obr. 18 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 3

**Kontrolní let:** bez použití zdroje světla s převýšením 10 m, pozadí neutrální obloha



Obr. 19 Kontrolní let 3 bez zdroje světla



#### 5.4.4 Let IV. – v noci, dron ve visu s převýšením

> imitace výhledu na **dron ve visu** s bílým stroboskopickým zdrojem světla, viditelné ze stran a seshora při letu vrtulníku ve menší nebo stejné výšce <

**Čas letu:** 21:18 – 21:40 SELČ

**Situace:** dohlednost do 10 km, pokrytí 4/8 kupovité nízké oblačnosti a 4/8 střední oblačnosti, počátek noci, 28' po západu slunce

**Výška letu:** s převýšením 20 m QFE, konstantní

**Dráha letu:** vzlet od místa pozorovatele – směr letu J do vzdálenosti 2600 m a zpět, zastavení pohybu ve vzdálenosti 200 m od pozorovatele, potom každých 200 m až do místa kdy bylo nutné zajistit dostatek energie v akumulátoru na cestu zpět. Potom zpětný kurz a kontinuální pohyb zpět.

**Výhled:** do šera

**Horizontální osa letu dronu:** odchylka do 5° od osy fotoaparátu

**Pozadí:** tmavnoucí obloha, rozpadající se kupovitá oblačnost

Tab 14 Záznam pozorování – let 4

Viditelnost	Vzdálenost dronu [m]												
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600
barva / silueta dronu	-												
zdroj světla	silně				středně				slabě				
hodnocení	výrazný								viditelný				

**Pozn:** vzdálenost by bylo možné výrazně prodloužit, světlo bylo stále dobře viditelné, limitující byla nízká kapacita akumulátoru dronu a hranice volného prostoru bez objektů na zemi.



Vzdálenost UAV [m]	Doba letu při $v = 180 \text{ km/h}$ [s]	Doba letu při $v = 240 \text{ km/h}$ [s]
200	4	3
500	10	7,5
1000	20	15
2000	40	30
2600	52	39

Obr. 20 Záznam pozorování se zdrojem světla – let 4

## 5.5 Výsledky pozorování

Pozorovaný zdroj světla umístěný na dron tak, aby umožnil pozorování dronu ze strany a šikmo seshora. Zdroj světla – cyklistické světlo – byl svou aktivní svítící plochou přivrácen na stranu pozorovatele ideálně, umístěný svou vyzařovací plochou do horizontální roviny. Takto umístěný zdroj bylo možné zachytit na tmavém pozadí lesa nebo zatažené oblohy i s mírným převýšením dronu vůči pozorovateli.

### 5.5.1 Vliv pozadí při pozorování

- tmavý souvislý porost – nejlepší pozorování
- středně tmavý (syté zelené pole) – průměrný (zataženo) až slabý (při slunečném počasí)
- světlý (okrové pole) – slabý až neznatelný
- světlá obloha (na slunečné straně) – nepozorovatelný
- bezoblačná obloha – nepozorovatelný
- středně tmavá obloha (na straně po směru svitu slunce) – pozorovatelný ale nevýrazný
- tmavá obloha – dobře viditelný



### 5.5.2 Vliv sousosti relativního pohybu dronu a osy pozorování

velká odchylka os umožňuje vyhodnocovat pozorovaný zdroj světla v pohybu a porovnávat s předchozí zachycenou pozicí. Mentální obrázek dokreslující pozorovaný pohyb pracuje s předpokladem, že pohyb je rovnoměrný přímočarý a vyhledávání následné pozice pozorovaného bodu se do tohoto prostoru soustředí. Větší frekvence bude zřejmě přispívat k lepšímu porozumění pohybu pozorovaného objektu. Větší intenzita záblesků pomůže zlepšit schopnost rozlišit zdroj světla od méně kontrastního pozadí.

Malá odchylka os výrazně nezhoršuje pozorování a vyhodnocení pozorovaného bodu jako překážky

Minimální až nulová odchylka os výrazně zhoršuje vyhodnocování pozorovaného bodu jako překážky. Objekt (bod) splývá s kompozicí ostatních objektů v krajině

### 5.5.3 Vliv převýšení nad osu pozorování

Velké převýšení (> 50 m) se ztrácí ze zorného pole posádkou pozorované části před vrtulníkem. Čím blíže je zdroj světla k pozici pozorovatele, tím méně zasahuje do prostoru koncentrace při vyhledávání překážek

- Vzdálený zdroj světla s převýšením (> 50 m) – převýšení je nevýrazné vzhledem k násobně větší vzdálenosti.
- Nulové převýšení – zdroj světla je v prostoru největší koncentrace posádky při vyhledávání
- Malé negativní převýšení zdroje světla – je v prostoru největší koncentrace posádky při vyhledávání
- Velké negativní převýšení zdroje světla – je mimo prostor největší koncentrace posádky při vyhledávání – není faktor při vodorovném letu vrtulníku. Pouze při přiblížení k ploše přistání (např. v terénu)

### 5.5.4 Vliv barvy světla

- Bílé jasné blikající světlo – upoutává pozornost na všech barevných podkladech ve dne i v noci. Limitující faktor je pouze intenzita svícení s ohledem na světlo odražené z plochy pozadí
- Červené jasné blikající světlo – splývá s většinou pozadí ve dne. V noci je výrazné a nezaměnitelné



### 5.5.5 Další faktory

Z technických důvodů nebyly zahrnuty:

- Změna intenzity zdroje světla
- Změna frekvence blikání
- Velikost zrychlení a změny směru letu dronu

### 5.5.6 Omezení zvolené metody

Použitá metoda poskytuje pozorování na vzdálenosti, kterou lze měřit s omezenou přesností. Negativní vertikální převýšení, bez použití dalšího dronu nebo jinak vyvýšeného místa pozorování, je nutné imitovat změnou pozadí za pozorovaným objektem. Bylo použito pouze jednoho typu světelného zdroje. Všechna hodnocení jsou pouze subjektivní.

### 5.5.7 Závěr pozorování

Přestože počet letů v různých podmínkách nedostačuje na kvalitní zhodnocení účinku vybavení dronu zdrojem světla, bylo nejméně v jednom případě ve dne a jednom případě v noci, dosaženo částečného zvýraznění pozice dronu na vzdálenost, která zásadním způsobem převyšuje pozorování dronu bez použití světelného zdroje.

S ohledem na profesní zkušenost obou pozorovatelů, členů letových posádek vrtulníků AČR, lze, na základě pozorování, vyjádřit **souhlas** s tvrzením: „*Označení letícího dronu zábleskovým majákem může napomoci posádce nízkoletícího vrtulníku k provedení úhybného manévru a vyhnutí se kolizi.*“

## 5.6 Vytvoření podmínek pro implementaci U-Space do LKAA

Společnou spolupodílející se příčinou selhání systému, uvedenou ve scénářích 1–5 STPA, je minimální schopnost posádky i pilota-operátora dronu zjišťovat a vyhodnocovat okolní provoz. K tomu, aby bylo možné prohlásit provoz posádkou obsazených letadel ve stejném prostředí s prostředky bezposádkovými, řízenými operátorem na dálku nebo autonomně, za bezpečný, je nutné **sdílení polohových a základních letových dat se všemi účastníky dotčeného vzdušného prostoru.**

Šíření dat by mělo být založeno na podobném principu jako je dnešní ADS-B. Informace o poloze ostatních objektů v prostoru musí být šířena v reálném čase, s dostatečnou polohovou přesností tak, aby bylo možné ji kterýmkoliv uživatelem zachytit a přizpůsobit vlastní dráhu letu bezkoliznímu provozu – **Dynamická rekonfigurace.** Podrobně se tématem zabývá



studie Evropské obranné agentury EDA [26]: [Bajzikova (EGIS), Bernard (EGIS) a Drevillon (EGIS). Military and U-Space: Guidelines: Final Report, 2023]

„U-Space představuje balíček vysoce digitalizovaných služeb, automatizovaných funkcí a procedur, poskytovaných za účelem bezpečné a efektivní integrace velkého množství dronů do vzdušného prostoru. Je to nástroj umožňující provedení jakéhokoliv letu dronu ve všech třídách vzdušného prostoru, zatímco je udržována komunikace s odpovědným stanovištěm řízení letového provozu a dotčeným letovým provozem.“ [26]

Vzhledem k teoretické možnosti nárůstu počtu uživatelů blízké kritickému množství v určitých prostorech, jako jsou okolí letišť a městských aglomerací, by bylo nutné zavedení prioritizace letů s ohledem na:

- čas průletu sledovanou oblastí
- požadovanou trať a výšku letu
- účel letu

Data bude nutné publikovat před letem směrem k orgánům odpovědným za koordinaci provozu, poskytující služby podobné dnešnímu NMOC, které by vstup do dotčené oblasti optimalizovaly pomocí odložení času vzletu, případně nabídnutím vhodnějšího časového intervalu pro vstup, výstup nebo průlet [26]

### 5.6.1 Státní lety v U-Space

Z pohledu státu jsou státní lety, tedy i provoz OAT vrtulníků, předmětem utajení, pokud to povaha úkolu vyžaduje. Například lety ve prospěch obrany státu, nebo jiného státu NATO. Není tedy v jeho zájmu, jako provozovatele, použití systému hlášení polohy a letových dat v reálném čase v otevřeném formátu všem ostatním uživatelům vzdušného prostoru. Pakliže by jejich trasa nebo zájmový prostor ležel v prostoru U-Space, bylo by nutné koordinovat volný průlet přes prostředníka, který by, podobně jako současná služba vojenského řízení letového provozu, zajišťoval vyrozumění orgánu řízení letového provozu v U-Space a vyjednání volného vstupu do dotčeného prostoru v požadovaném časovém intervalu [26].

Další lety poskytované například k pátrání a záchraně (SAR), lety PČR a HEMS nemohou z povahy úkolu splňovat podmínku včasného podání letového plánu a ani se v současnosti neobejdou bez aktivní koordinace s ŘLP. Průlet nebo vstup do zájmového prostoru ležícím v U-SPACE by vyžadoval oslovení a aktivní koordinaci také s orgánem UTC (UA Traffic Control) avšak s minimálním předstihem. Účel těchto letů poskytovaných jako služba občanům státu, výrazně převyšuje komerční nebo soukromé lety a vyžaduje prioritizaci. Čas, místo nebo dobu trvání úkolu potom určují okolnosti, kvůli kterým vznikla potřeba



podobného letu. Požadovaný prostor v U-SPACE by bylo opět nutné operativně koordinovat, např. cestou prostředníka, s orgánem UTC.

### 5.6.2 Zavedení U-Space

Regulatorní rámec pro zavedení U-Space je zachycen v (EU) 2021/664 [27] a požadavky na poskytovatele služeb U-Space (EU) 2021/665 [28]. První datum možného zavedení U-Space je stanoveno počátkem roku 2025, avšak technologie umožňující spolehlivé vyhýbání (založené na principech ADS-B a TCAS) a komunikaci všech uživatelů a poskytovatelů služeb je nutné vyvinout a dostatečně ověřit v provozu.

Doposud také není stanoveno, jakým způsobem bude řešeno financování poskytovaných služeb. Zda na komerční bázi, tedy formou poplatků, či financováním z rozpočtu států.

Poplatky, podobně jako u služeb ATC (Air Traffic Control), které vychází z MTOM a délky úseku letové trasy procházející dotčeným řízeným prostorem, by mohly být dobře vymahatelné u komerčních subjektů, avšak pro nekomerční provozovatele by mohly představovat překážku. Mohlo by to některé provozovatele podněcovat k provádění, například rekreačních letů, bez použití povinného vybavení, tedy neviditelné pro systém. Otázkou také je, zda by vymahatelné poplatky dostačovaly na pokrytí nutných nákladů spojených s provozem komplexních služeb v U-Space i v případě, že se neobjeví na evropském trhu dostatek komerčních provozovatelů, využívajících UAS k obchodní činnosti. Pak se nabízí možnost systému dotací a financování z rozpočtu států, případně rozpočtu EU, které však vyžaduje nutnou shodu zúčastněných stran.

Finanční zátěž pro jednotlivé státy bude představovat i participace orgánů vojenského řízení letového provozu v programu U-Space. Studie EDA [26] poukazuje na nutnost zapojení orgánů odpovědných za vojenský letový provoz do procesu vývoje budoucích postupů a pravidel při zavádění U-Space, od jeho prvopočátku. Rozděluje intenzitu spolupráce vojenského ŘLP s UTM do tří úrovní:

**Level 1 – nízká interoperabilita** – odpovídá současnému stavu, kdy vojenský orgán řízení letového provozu koordinuje činnost státních letů s civilním protějškem, tedy s poskytovatelem služeb řízení a optimalizace letů v U-Space.

**Level 2 – střední interoperabilita** – sdílení většího objemu dat včetně výstupů vojenského radarového pokrytí území, případně větší úroveň spolupráce řídicích při organizaci taktických OAT letů v rámci U-Space



**Level 3 – vysoká interoperabilita** – schopnost dynamické rekonfigurace sdílená civilním a vojenským řízením letového provozu a sdílený obraz vzdušného prostoru získávaný z přehledových prostředků civilních i vojenských radiolokátorů a sítě sdružující data aktivních UAS.

Pomocí Cost & Benefit analýzy vyhodnocuje bezpečnostní a operační přínosy všech stupňů interoperability proti nezbytným vstupům nutným pro zavedení a provoz technického vybavení a pracovních pozic v průběhu nadcházejícího zkušebního období pěti let od zavedení. Odhadované hodnoty se pohybují mezi 25.5 mil. EUR (level 1) po 850 mil. EUR (level 3) pro celou EU [26].





## 6 ZÁVĚR

Tato práce přináší ucelený pohled na smíšený provoz bezpilotních prostředků a státem provozovaných letů vrtulníků v malých a přízemních výškách, zejména ve vzdušném prostoru třídy G, popsany v teoretické části práce.

Analýza bezpečnosti OAT letů v respektu k UAV byla provedena v kapitole 2 srovnáním výsledků studií, zabývajících se tematikou společného provozu, s poznatky popisující současný stav a podmínky prováděných OAT letů vrtulníků. Vzhledem k tomu, že výsledky těchto studií se shodují v mnoha bodech, považuji je za dostatečně relevantní, avšak ne vyčerpávající.

Použitím moderní metody STPA, poskytující náhled na bezpečnost provozu s využitím systémového přístupu k bezpečnosti, bylo identifikováno několik scénářů objasňující příčiny možných selhání systému (v kapitole 3). Výsledky analýzy, zachycené v kapitole 4, byly použity k návrhu opatření pro zajištění bezpečnosti OAT letů vrtulníků v nízkých a přízemních výškách. Zvolenou metodu považuji za správnou pro její schopnost zachytit nebezpečné akce v systému způsobené lidským činitelem.

Navržená opatření, diskutovaná v kapitole 5, jsou podložena výsledky pozorování kontrolních letů UAV a také srovnávána s výsledky studie EDA, zabývající se tímto tématem.

Přesto, že použitá metoda pozorování letů dronu není kvalitativní, je možné její výsledky použít k zahájení dalšího zkoumání. Navržené opatření, vyžadující změnu legislativy, zachycuje oblast, ve které je provoz UAV bez další koordinace přinejmenším diskutabilní a také může být podnětem k prošetření.

Zjištěné poznatky a úsilí, nutné k sepsání této práce, byly pro mě obohacující a vhodné k rozšíření znalostí získaných během mého studia.



## 7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] ICAO Cir 328: *Unmanned Aircraft Systems (UAS)* [online]. Order Number: CIR328. 999 University Street, Montréal, Quebec, Canada H3C 5H7: INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2011 [cit. 2023-07-28]. ISBN 978-92-9231-751-5. Dostupné z: [https://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328\\_en.pdf](https://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf)

[2] *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2019/947: on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft*. In: . Brusel: Evropská komise, 2019, 02019R0947 — EN — 04.04.2022 — 004.003, (OJ L 152 11.6.2019, p. 45). Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0947-20220404>

[3] *COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2019/945: on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems*. In: . Brusel: European Commission, 2019, 02019R0945 — EN — 09.08.2020 — 001.004, (OJ L 152 11.6.2019, Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02019R0945-20200809&qid=1690576440259>

[4] *Zákon č. 49: o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů*. In: . Česká republika: Sbírka zákonů ČR, 1997, ročník 1997, 17 (28. 3. 1997), číslo 49. Dostupné také z: <https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu>

[5] *Opatření obecné povahy: Omezený prostor LKR10 – UAS*. In: . Praha: Úřad pro civilní letectví, 2020, Čj.: 15149-20-701. Dostupné také z: <https://www.caa.cz/wp-content/uploads/2020/11/20201230162623731.pdf>

[6] *ŘÍZENÍ LETOVÉHO PROVOZU ČESKÉ REPUBLIKY. Pravidla létání dronů v blízkosti řízených letišť (CTR a MCTR)*. In: *ŘLP ČR* [online]. ŘLP ČR, 2023 [cit. 2023-07-23]. Dostupné z: [https://www.rlp.cz/articlesb/C\\_3\\_2?CatCode=C3](https://www.rlp.cz/articlesb/C_3_2?CatCode=C3)

[7] *LETECKÝ PŘEDPIS: PRAVIDLA LÉTÁNÍ L 2*. In: . Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY Zpracovatel: Úřad pro civilní letectví, 2022, ročník 2022, Čj.: 153/2014-220. Dostupné také z: <https://aim.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/index.htm>

[8] *Vyhláška 108: kterou se provádí zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání*. In: Ministerstvo dopravy a spojů, 1997, částka 37



- [9] *Let-1-6/L2: Pravidla létání vojenských letadel*. In: Praha: Ministerstvo obrany České republiky, 2022
- [10] Integrating Drones Safely - Campaign: Drones Threatens Helicopters.pptx. In: *European Cockpit Association* [online]. rue du Commerce 20-22 B-1000 Brussels Belgium: ECA, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://www.eurocockpit.be/campaign/integrating-drones-safely>
- [11] Integrating Drones Safely - Campaign: Operations of Unmanned Aircraft Systems in Very Low Level Airspace. In: *European Cockpit Association* [online]. rue du Commerce 20-22 B-1000 Brussels Belgium: ECA, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://www.eurocockpit.be/positions-publications/operation-unmanned-aircraft-systems-very-low-level-airspace>
- [12] Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulations (EU) 2019/947 and 2019/945): Revision from September 2022. In: *European Union Aviation Safety Agency 2023* [online]. Cologne, Germany: EASA, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/easy-access-rules/easy-access-rules-unmanned-aircraft-systems-regulations-eu>
- [13] Gatwick Airport: Drones ground flights: England, Sussex. *BBC News* [online]. London, UK: BBC, 2018 [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-46623754>
- [14] EASA Drone Incident Management at Aerodromes: Part 1. In: *European Union Aviation Safety Agency 2023* [online]. Cologne, Germany: EASA, 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone\\_incident\\_management\\_at\\_aerodromes\\_part1\\_website\\_suitable.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/drone_incident_management_at_aerodromes_part1_website_suitable.pdf)
- [15] Remote ID Explained. In: *Dronetag* [online]. .: ., 2023 [cit. 2023-07-29]. Dostupné z: <https://help.dronetag.cz/knowledge-base/remote-id-explained/>
- [16] Annual\_safety\_review\_2022.pdf. *EASA Annual Safety Review* [online]. EASA, 2022, .(.), 174 [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/en/newsroom-and-events/news/easa-annual-safety-review-2022-published>



- [17] *UA and Other Airprox Count and Information.xlsx: Small unmanned air system (SUAS) assessment* [online]. London, UK: UK Airprox Board, 2023, **2023**(7), . [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <https://www.airproxboard.org.uk/Topical-issues-and-themes/Drones/>
- [18] CAP2546: UK CAA Drone tracker survey 2023: tracker survey of drone users and the general public. In: *CAA UK* [online]. UK: Civil Aviation Authority UK, 2023 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: <https://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?appid=11&mode=detail&id=12116>
- [19] Summary Report: Airbus A319 HB-IPT Serious Incident. In: *Swiss Transportation Safety Investigation Board* [online]. Bern: STSB, 2020 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: [https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/HB-IPT\\_Drohne\\_SumB\\_e.pdf](https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/HB-IPT_Drohne_SumB_e.pdf)
- [20] Rapporto sommario: Cabri G2 HB-ZYZ Collisione con un drone. In: *Servizio d'inchiesta svizzero sulla sicurezza SISI* [online]. Bern: STSB, 2019 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: [https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/HB-ZYZ\\_IT.pdf](https://www.sust.admin.ch/inhalte/AV-berichte/HB-ZYZ_IT.pdf)
- [21] GERARDO OLIVARES PH.D. UAS Airborne Collision Severity Evaluation: A3\_A11L.UAS.7.2. In: *ASSURE: The Alliance For System Safety Of UAS* [online]. National Institute for Aviation Research Wichita State University, 2017 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: <https://www.assureuas.org/projects/uas-airborne-collision-severity-evaluation/>
- [22] FRANKE, F, SCHWAB, M a BURGER, U. An analytical model to determine the impact force of drone strikes. *CEAS Aeronautical Journal* [online]. 69–84 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s13272-021-00552-4>
- [23] *DJI Mavic Air 2 / UH-57B (Bell 206B JetRanger III)* [online]. In: . s. 1 [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/wikibase/247018>
- [24] LEVESON, Nancy G. a John P. THOMAS. *STPA Handbook* [online]. In: . [cit. 2023-08-02]. Dostupné z: [http://psas.scripts.mit.edu/home/get\\_file.php?name=STPA\\_handbook.pdf](http://psas.scripts.mit.edu/home/get_file.php?name=STPA_handbook.pdf)
- [25] *Prováděcí nařízení Komise (EU) č. 923/2012: společná pravidla létání a provozní předpisy týkající se služeb a postupů v oblasti letecké navigace* [online]. In: . OJ L 281, 13.10.2012, 26 Jan 2023n. I. [cit. 2023-08-03]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/ALL/?uri=CELEX%3A32012R0923>



[26] LIVIA BAJZIKOVA (EGIS), STEPHANE BERNARD (EGIS) a HERVE DREVILLON (EGIS). MILITARY AND U-SPACE: GUIDELINES: FINAL REPORT – INCLUDING D1/D2/D3 MATERIALS. In: *European Defence Agency* [online]. Egis, EuropAviation [cit. 2023-08-03]. Dostupné z: <https://eda.europa.eu/docs/default-source/documents/military-and-u-space---guidelines---final-report.pdf>

[27] *Prováděcí nařízení Komise (EU) 2021/664: Regulační rámec U-Space*. In: . 22 April 2021n. I., [http://data.europa.eu/eli/reg\\_impl/2021/664/oj](http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2021/664/oj). Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0664>

[28] *COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2021/665: požadavky na poskytovatele služeb v oblasti uspořádání letového provozu ve vzdušném prostoru U-space*. In: 22 April 2021n. I. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0665&qid=1691073993590>