



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Kateřina Sekyrová

BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY PROVOZU UAV V OKOLÍ  
ŘÍZENÝCH LETIŠŤ

Diplomová práce

**2018**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

d ě k a n

Konviktská 20, 110 00 Praha 1



**K621..... Ústav letecké dopravy**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Kateřina Sekyrová**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – PL – Provoz a řízení letecké dopravy**

Název tématu (česky): **Bezpečnostní aspekty provozu UAV v okolí řízených letišť**

Název tématu (anglicky): Security Aspects of UAV Traffic in the Environment of Controlled Aerodromes

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Přehled současného stavu řešení problematiky provozu UAV
- Kritická analýza legislativních podmínek provozu UAV v ČR, resp. v EU
- Komplexní rozbor rizik/nebezpečí spojených s UAV provozem v blízkosti letišť
- Současný stav řešení (technologie) detekce a možné likvidace nebezpečných dronů ve světě a speciálně v EU. Shrnutí metod a případné návrhy na modifikaci těchto metod pro ČR nebo návrh jiných řešení
- Návrh postupu posuzování, schvalování a koordinace provozu UAV v CTR, uplatňovaného místně příslušným stanovištěm ATC
- Shrnutí výsledků práce, doporučení pro další kroky v této oblasti



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Drony, Jakub Karas, Tomáš Tichý. Brno: Computer Press, 2016  
Holder, Bill, Unmanned Air Vehicles: an illustrated study of UAVs, Schiffer Military 2001  
Letecké předpisy řady L, dostupné z <http://lis.rlp.cz/>

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Daniel Hanus, CSc.**  
**doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.**

Datum zadání diplomové práce: **28. července 2017**  
(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 diplomové práce: **29. května 2018**  
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

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



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Kateřina Sekyrová  
jméno a podpis studenta

V Praze dne .....28. července 2017

## Prohlášení

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).

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 27. 05. 2018



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ

BEZPEČNOSTNÍ ASPEKTY PROVOZU UAV V OKOLÍ  
ŘÍZENÝCH LETIŠŤ

Diplomová práce

Květen 2018

Bc. Kateřina Sekyrová

## ABSTRAKT

„Předmětem diplomové práce Bezpečnostní aspekty provozu UAV v okolí řízených letišť je analýza současného stavu řešení problematiky bezpilotních systémů v České republice a Evropě, rozbor rizik spojených s jejich provozem v blízkosti letišť, shrnutí dostupných metod detekce a eliminace nebezpečných dronů. V diplomové práci je představen návrh nového způsobu posuzování, schvalování a koordinace provozu bezpilotních systémů v řízeném okrsku letiště.“

## KLÍČOVÁ SLOVA

Bezpilotní systémy, drony, UA, UAV, UAS, RPAS, UTM, ATM, řízený okrsok letiště, řízené letiště, bezpečnost, postupy, detekce

## ABSTRACT

„The aim of this diploma thesis is to critically overview regulatory framework for unmanned aircraft systems applicable in the Czech Republic and more precisely in Europe; to evaluate safety aspects of the UAS traffic in the vicinity of controlled airports; to introduce a new proposed assessment method for the UAS activity approval within a control zone and to summarize available methods of UAS detection and counter-drone methods.”

## KEY WORDS

Unmanned systems, drones, UA, UAS, UAV, RPAS, UTM, ATM, control zone, drones, controlled aerodrome, security, safety, procedures, detection

## Poděkování

Je mojí milou povinností poděkovat všem, kteří mi v průběhu zpracování práce byli ochotni poskytnout podklady pro vypracování diplomové práce. Zvláštní poděkování bych chtěla vyslovit svým vedoucím diplomové práce, panu doc. Ing. Václavu Jirovskému a panu doc. Ing. Danielu Hanusovi.



# Obsah

Seznam použitých zkratk	10
1 Úvod	13
2 Přehled současného stavu řešení problematiky provozu UAS	15
2.1 Základní pojmy a definice	15
2.2 Kategorizace bezpilotních systémů	18
2.2.1 Bepilotní letouny	18
2.2.2 Koptérové systémy	18
2.2.3 Bepilotní vrtulníky	19
3 Kritická analýza legislativních podmínek provozu UAS v ČR, resp. v EU	20
3.1 Začlenění provozu UAS, právní legislativa	20
3.1.1 Meziresortní komise pro bezpilotní systémy při MD	21
3.2 Mezinárodní dohody a úmluvy týkající se bezpilotního provozu	21
3.2.1 Kritický pohled na danou problematiku	23
3.3 Podrobný rozbor Doplnku X Předpisu L-2 Pravidla létání	23
3.4 Analýza vybraných témat z Doplnku X	25
3.4.1 Definice ochranných pásem letiště	25
3.4.2 Uplatnění požadavku na získání letového povolení, oboustranné radiové spojení a vybavení odpovídačem	26
3.5 Rozbor legislativních podmínek v EU	27
3.5.1 Organizace podílející se na tvorbě legislativního rámce	27
3.5.2 Výzkum a vývoj (R&D) v oblasti bezpilotních systémů	28
3.5.3 Klíčové dokumenty vydané k problematice provozu bezpilotních prostředků	28
3.5.4 NPA 2017- 05 a komentář k návrhu pravidel EU 201X/XXX'	30
3.5.5 Kritický pohled na návrh nové evropské legislativy	31
3.5.6 Rozbor legislativních podmínek ve vybraných státech Evropy	32
3.5.7 Rozbor legislativních podmínek v USA	35
3.6 Definice UTM, aplikace související s UTM	40

4	Návrh postupu posuzování, schvalování a koordinace provozu UAS v CTR, uplatňovaného místně příslušným stanovištěm APP .....	42
4.1	Popis stávajícího procesu při povolování letů dle Doplnku X .....	43
4.2	Důvody k zavedení nového způsobu posuzování UAS letů v CTR Ruzyně .....	44
4.3	Postup při vytváření nové vrstvy – No-Fly-zóny pro UAS v CTR Ruzyně .....	45
4.3.1	Stanovení No-Fly-Zóny pomocí výškového omezení .....	47
4.3.2	No-fly-zóna .....	49
4.4	Popis nového procesu povolování NSF letů v CTR.....	50
4.5	Doporučení pro další kroky v této oblasti .....	51
5	Rozbor rizik a nebezpečí spojených s UAS provozem v blízkosti řízených letišť .....	52
5.1	Hodnocení bezpečnosti v letectví .....	52
5.2	Rizika a nebezpečí identifikovaná v souvislosti s UAS provozem .....	52
5.2.1	Sblížení s jiným uživatelem vzdušného prostoru (Airborne conflict) .....	54
5.2.2	Sblížení s jiným objektem/osobou na zemi (Ground conflict) .....	56
5.3	Studie a testy nárazu .....	56
5.3.1	Mid-Air Collision Study, publikovaná společností BALPA, DfT a MAA .....	56
5.3.2	ASSURE UAS Airborne Collision Severity Evaluation Final Report .....	57
5.3.3	Drone Aircraft Collision Tests (Čína).....	58
5.3.4	Závěry z jednotlivých studií.....	60
6	Současný stav řešení (technologie) detekce a možné eliminace nebezpečných dronů. 61	
6.1	Definice kooperujících cílů .....	61
6.1.1	Odpovídače SSR.....	61
6.1.2	Automatické závislé systémy (ADS) .....	61
6.1.3	GPS tracker pro drony .....	62
6.1.4	Zobrazení kooperujících cílů.....	63
6.2	Definice nekooperujících cílů .....	63
6.3	Technologie detekce nekooperujících UAS.....	63
6.3.1	Detekce pomocí pulsního radaru .....	65
6.3.2	Dopplerovský CW radar.....	66

6.3.3	Frekvenčně modulovaný CW radar.....	67
6.3.4	Micro-Doppler metoda klasifikace malých UA.....	68
6.3.5	Monitorování spektra .....	70
6.3.6	Doplňkové systémy monitorování .....	71
6.3.7	Náhled na představené detekční technologie UAS .....	72
6.4	Osobní zkušenosti s testováním detekčních technologií UAS.....	72
6.4.1	Robin Radar Systems BV, produkt ELVIRA® .....	72
6.4.2	Rheinmetall AG, systémy Radshield® a Oerlikon Skymaster® .....	73
6.4.3	Rohde&Schwarz, ARDRONIS – TEST 1 .....	73
6.4.4	Rohde&Schwarz, ARDRONIS – TEST 2 .....	74
6.5	Způsoby eliminace nebezpečných UAS.....	75
6.5.1	Rušení radiového signálu .....	75
6.5.2	Rušení GPS signálu .....	76
6.5.3	Kritický pohled na eliminace UA pomocí rušení .....	77
6.5.4	Eliminace dronu pomocí vystřelené sítě.....	77
6.5.5	Alternativní způsoby eliminace nebezpečných dronů.....	79
6.6	Jiné metody ochrany.....	80
6.6.1	Geo-awareness .....	80
6.6.2	Geo-fencing.....	80
6.6.3	Kritický pohled na geo-fencing.....	81
7	Závěr - Shrnutí výsledků práce, doporučení pro další kroky v této oblasti.....	82
8	Použité zdroje.....	83
9	Seznam obrázků.....	90
10	Seznam tabulek a grafů .....	92
11	Seznam příloh.....	93

## Seznam použitých zkratk

AD	Aerodrome	Letiště
ADS	Automatic Dependent Surveillance	Automatický závislý přehledový systém
ADS-B	ADS – Broadcast	
AGL	Above Ground Level	Nad úrovní země
AIP	Aeronautical Information Publication	Letecká informační příručka
AIP SUP	AIP Supplement	Doplňěk AIP
AIRAC	Aeronautical Information Regulation and Control	Regulovaný systém řízení leteckých informací
AIS	Aeronautical Information Services	Letové informační služby
AltMoCs	Alternative Means of Compliance	Přijatelné způsoby průkazu
ANS	Air Navigation Services	Řízení letového provozu
ANS CR	Air Navigation Services of the Czech Republic	Řízení letového provozu České republiky
ANSP	Air Navigation Service Provider	Poskytovatel služby řízení letového provozu
APP	Approach control office <i>or</i> approach control service	Přibližovací stanoviště řízení <i>nebo</i> přibližovací služba řízení
ARP	Aerodrome Reference Point	Vztažný bod letiště
ASSURE	Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence	
ATZ	Aerodrome traffic zone	Letištní provozní zóna
AUDS	Anti-UA Defence System	Systém protidronové obrany
BALPA	British Airline Pilots Association	
BIS		Bezpečnostní informační služba České republiky
BVLOS	Beyond Visual Line Of Sight	Mimo dohled pilota
CAA	Civil Aviation Authority	Úřad pro civilní letectví
CAAC	Civil Aviation Authority of China	
CTA	Control Area	Řízená oblast
CTR	Control Zone	Řízený okrsek
CW	Continuous-wave	Stálá vlna
ČTÚ		Český telekomunikační úřad
DAA	Detect and avoid	Detekce a vyhnutí

DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co., Ltd	
EASA	European Aviation Safety Agency	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví
ETA	Event tree analysis	Analýza stromu událostí
FAA	Federal Aviation Administration (US)	Letecký úřad USA
FMCW	Frequency Modulated Continuous-wave (radar)	Frekvenčně modulovaný CW (radar)
FPV	First Person View	First Person View
FTA	Fault Tree Analysis	Analýza stromu poruchových stavů
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globální navigační satelitní systém
GPS	Global Positioning System	Globální systém určení polohy
GRC	Ground Risk Classes	Třídy rizik (na zemi)
HOP		Hustě osídlený prostor
ICAO	International Civil Aviation Organization	Mezinárodní organizace pro civilní letectví
IMU	Inertial Measurement Unit	Inerciální navigační jednotka
LUC	Light UAS Operator Certificate	Typ osvědčení pilota dronu v USA
MAIA	Mobile Aircraft Identification Application	Mobilní aplikace pro piloty UAS
MCTR	Military CTR	Vojenské CTR
MTOM	Maximum Take-off Mass	Maximální vzletová hmotnost
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NSF	Non-standard flight	Nestandardní let
OLZ		Osvědčení letové způsobilosti
OP		Ochranná pásma (letišť)
PkL		Povolení k Létání
RPA	Remotely Piloted Aircraft	Dálkově řízené letadlo
QNH	Altimeter sub-scale setting to obtain elevation when on the ground	Nastavení tlakové stupnice výškoměru pro získání výšky nad mořem bodu, který je na zemi
RC	Remote/Radio Control	Dálkové řízení
RCS	Radar Cross Section	Radarová odrazná plocha
SAR	Search and Rescue	Pátrání a záchrana
SMS	Safety Management System	System managementu bezpečnosti

SORA	Specific Operations Risk Assessment	
SUAS	Small UAS	Malé UAS
TSA	Temporary Segregated Area	Dočasně vyhrazený prostor
UA	Unmanned Aircraft	Bezpilotní letadlo
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Bezpilotní letecký prostředek
UAS	Unmanned Aerial System	Bezpilotní letecký systém
ÚOOÚ		Úřad pro ochranu osobních údajů
UTM	Unmanned Aircraft Traffic Management	
VLL	Very Low Level	
ZVFR		Zvláštní let VFR

# 1 Úvod

Bezpilotní systémy, respektive dálkově řízené letecké systémy (zjednodušeně drony), stále více vstupují do našich každodenních životů. Již dávno nejsou pouze vojenskou technologií používanou v obranném průmyslu. Rozsáhlé možnosti jejich využití v komerční sféře a jejich rychlý vývoj vytváří zcela nové příležitosti v odvětvích, kde bychom si je ještě před nedávnem nedokázali představit. Se vzrůstajícím množstvím výrobců a zahlcením trhu se drony stávají cenově dostupnými a roste také počet uživatelů, kteří bezpilotní systémy využívají nejen jako nástroj ke svému podnikání, ale pouze pro svoji zábavu. Výzvou této doby je vytvoření podmínek a vhodného prostředí pro tyto nové technologie a jejich bezpečnou integraci do již zaběhnutého světa létajících strojů s lidskou posádkou. Jsme svědky nově vznikajícího fenoménu, který započíná éru nejen bezpilotního, ale v budoucnu jistě i autonomního leteckého provozu. Tuto výzvu je třeba přijmout s respektem a s opatrností.

Lety s lidskou posádkou jsou založeny na zodpovědnosti a znalostech pilota, jeho aktivním přístupu po celou dobu letu. Na důvěře v personál provádějící údržbu letecké techniky, v personál poskytující letové navigační služby a v neposlední řadě i na práci dozorových orgánů, které na celý tento proces dohlížejí. Všechny tyto aspekty dohromady tvoří létání bezpečné, tok letového provozu plynulý a efektivní. Bezpilotní systémy jsou jiné a vyžadují odlišný přístup. Absence pilota na palubě přenáší veškerou zodpovědnost z paluby letadla na zem. Aplikace pojmů jako „see and avoid“ či „remain-well-clear“ není v souvislosti s bezpilotním provozem možná. Nebezpečné situace, jako jsou potenciální kolize s jinými uživateli vzdušného prostoru či překážkami, případně nebezpečné meteorologické jevy budou v budoucnu řešeny pomocí nově vyvíjených systémů typu „detect and avoid“. Dálkově řídicí pilot musí být schopen v případě nutnosti zvládnout komunikaci se stanovišti řízení letového provozu a mít přehled o ostatních uživateli vzdušného prostoru. Jen z tohoto krátkého výčtu je patrné, že integrace bezpilotních systémů nebude jednoduchá a bude mít značný vliv na veškeré subjekty zainteresované v letectví.

Bezpečná integrace bezpilotních letadel do vzdušného prostoru, řízeného či neřízeného, se neobejde bez spolupráce se stanovišti řízení letového provozu. Jedním z cílů diplomové práce je zhodnotit stávající pravidla pro létání bezpilotních systémů, tak, jak jsou popsána v Doplňku X předpisu L2, podrobit je analýze a pokusit se navrhnout změny v procesu posuzování létání v potenciálně konfliktním prostoru v okolí konkrétního řízeného letiště. Tento návrh by zároveň měl mít potenciál snížit zátěž na stanovišti ATC, spojenou s procesem schvalování takových letů, usnadnit provozovatelům leteckých činností prováděných bezpilotními letadly v řízeném prostoru jejich aktivity. Návrh nového procesu schvalování zvýší bezpečnost při provozu UAS v řízeném prostoru.

Nové technologie většinou přináší zejména užitek. Bohužel, jak jsme tomu byli v minulosti již mnohokrát svědky, technologie se dají lehkou zneužit k účelům, pro které nebyly původně stvořeny. S drony to bylo od počátku jinak – již první systémy byly vyvinuty pro vojenské účely a za desetiletí prošly nebývalým vývojem. Tím jak tyto původně vojenské technologie pronikají do civilního světa, objevují se nové hrozby, kterým budeme muset v budoucnu čelit. V kapitole Komplexní rozbor rizik spojených s UAS provozem v blízkosti letišť se budu zabývat příčinami a důsledky takových hrozeb ve vztahu k letištnímu prostředí.

Kapitola věnující se technologiím detekce a eliminace potenciálně nebezpečných dronů obsahuje souhrn řešení, která jsou v současné době k dispozici. Součástí je kritický rozbor možného využití těchto technologií v praxi.

Práce byla vypracována pomocí rozboru právních předpisů, odborné literatury, popisem jednotlivých problematik, srovnáním otázek souvisejících s problematikou bezpilotních systémů a zhodnocením a kritickým zamyšlením nad aktuálními otázkami. Metody použité v diplomové práci jsou tedy metody analytická, deskriptivní, komparativní a metoda vlastního návrhu.



## 2 Přehled současného stavu řešení problematiky provozu UAS

### 2.1 Základní pojmy a definice

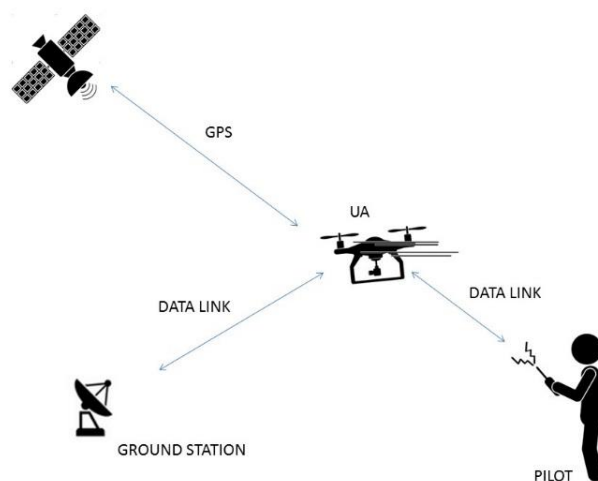
V souvislosti s bezpilotními systémy vznikla celá řada nových pojmů, které bývají často zaměňovány. Považuji tedy za vhodné na začátek práce zařadit právě jejich výčet a vysvětlení.

**Autonomní letadlo** – bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.[1]

**Bezpilotní letadlo (UA)**<sup>1</sup> – letadlo určené k provozu bez pilota na palubě.[1]

**Bezpilotní letecký prostředek (UAV)**<sup>2</sup> zastaralý, byť stále často používaný termín pro létající objekt bez posádky, který může být řízen na dálku, nebo létat samostatně pomocí před-programovaných letových plánů nebo pomocí složitějších dynamických autonomních systémů.

**Bezpilotní systém (UAS)** je systém skládající se z bezpilotního letadla, dálkově řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku, nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému (Obrázek 1) více. Tento termín je používán v legislativě v ČR.[1]



Obrázek 1: Dílčí složky bezpilotních systémů (vlastní podle [1])

**B-VLOS** – z anglického „Beyond visual line of sight“ – létání mimo dohled pilota.[2]

<sup>1</sup> Bezpilotní letadlo (UA) je termín, který bude v celé diplomové práci používán, místo zastaralého názvu UAV.

<sup>2</sup> V názvu diplomové práce je uveden termín Bezpilotní prostředek (UAV). V době zadání DP mi nebyla známa nuance mezi termíny UA a UAV.

“**Command and control (C2) link**”- Datový spoj mezi dálkově řízeným letadlem a dálkově řídicí stanicí určený k ovládnání letu.

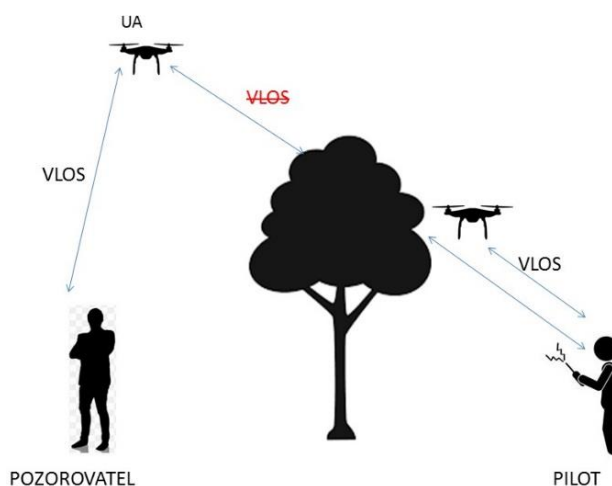
**Dálkově řídicí stanice (RPS)** – součást UAS obsahující vybavení k řízení dálkově řízeného letadla.[1]

**Dálkově řízené letadlo (RPA)**. Bezpilotní letadlo, které je řízeno z dálkově řídicí stanice.[2]

“**Detect and avoid (DAA)** – „detekce a vyhnutí“ - schopnost vidět, vnímat nebo detekovat konfliktní provoz nebo jiná nebezpečí a přijmout vhodné opatření.[1]

**Dron** - pojem dron je nyní zejména v médiích využíván jako generický popis pro všechny třídy a kategorie letadel spadajících do kategorií UAS/ RPAS.

**E-VLOS** – z anglického „Extended visual line of sight“. Létání za pomoci jednoho či více pozorovatelů. Na obrázku (Obrázek 2) je vyobrazeno létání s jedním pozorovatelem.[2]



**Obrázek 2:** Létání za pomoci jednoho pozorovatele (vlastní podle [2])

**FPV** z anglického „First-person view“ - umožňuje řízení dronu z vlastního pohledu podle výnosu z palubní kamery.[2]

„**Remain-well-clear**“ schopnost dálkově řídicího pilota udržet si bezpečný odstup od ostatního provozu.[4]

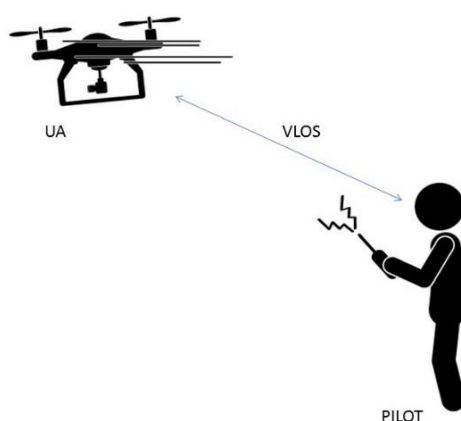
„**See and avoid**“ je metoda vyhnutí se srážce za předpokladu, že meteorologické podmínky dovolí pilotovi aktivně vizuálně sledovat potenciálně konfliktní provoz.[3]

**Systém dálkově řízeného letadla (RPAS)** je dálkově řízené letadlo, jeho přidružená dálkově řídicí stanice, požadované komunikační spojení a ostatní součásti specifikované pro jednotlivý daný typ. RPAS je podkategorií UAS.[4]

**U-Space** – soubor nových služeb a specifických postupů navržených pro podporu bezpečného a efektivního přístupu do celého vzdušného prostoru pro velké množství UAS. Na rozdíl od konceptu UTM platformy není soubor U-space služeb omezen na provoz v tzv. very low level (VLL), ale zahrnuje všechny služby nabízené UAS uživatelům bez ohledu na vzdušné prostory, ve kterých se chtějí pohybovat. To znamená, že U-space je nadřazená množina k UTM. Navíc pokrývá provoz v osídlených oblastech a také provoz mimo zástavbu, ačkoli žádný z těchto provozních konceptů zatím není definován. Například pro "městský" provoz není jasné, zda souvisí s hustotou obyvatelstva nebo pokud je spojen s hustotou budov. Některé další otázky spojené se službami U-space jsou stále nevyřešené, jako například financování těchto služeb a zpoplatnění přístupu k nim pro koncové uživatele.[26]

**UTM** – systém, který umožní spolupráci a výměnu informací mezi dálkově řídicím pilotem a složkami služby řízení letového provozu. Tato integrace umožní provést identifikaci a přibližnou lokalizaci UA, včetně vedení informací o zjednodušeném letovém plánu, což otevírá možnost správy a evidence letových povolení pro konkrétní let nebo pro konkrétní lokalitu.

**VLOS** – z anglického „Visual line of sight“ – létání v přímém dohledu pilota dronu. (Obrázek 3). Jedna z hlavních podmínek létání v ČR.[2]



**Obrázek 3:** Létání v přímém dohledu pilota dronu (vlastní podle [2])

## 2.2 Kategorizace bezpilotních systémů

Bezpilotní systémy můžeme kategorizovat podle mnoha kritérií. Základní dělení, ze kterého vychází legislativa v mnoha státech, je dělení na drony pro rekreační létání a drony určené pro profesionály. Dalšími z důležitých kritérií mohou být **účel použití** (průzkumný, bojový, cvičné cíle, vědecký, logistický, civilní a komerční, rekreačně-sportovní, multifunkční), **velikost a hmotnost** (hmotnostní kategorie jsou určeny Úřadem pro civilní letectví), **výkonnostní charakteristiky** (rychlost, výdrž, dolet, maximální výška), **způsob ovládání** (manuální, automatické, kombinované, autonomní), **pohon** (bez pohonu, s pohonem), **počet motorů**, **nosnost**, **typ konstrukce** (koptérové systémy, bezpilotní vrtulníky, bezpilotní letouny a samokřídla, vzducholodě, balóny, vírníky...) a v neposlední řadě i **cena**. Speciální skupinou jsou pak drony **vojenské** či drony **upoutané**.

Pro účely diplomové práce se budu podrobněji věnovat pouze dělení podle typu konstrukce. Konstrukce je totiž důležitým aspektem při způsobu detekce UAS, které je věnována kapitola 6.

### 2.2.1 Bepilotní letouny

Drony z kategorie bezpilotních letounů bývají nejčastěji klasické konstrukce s oddělenými ocasními plochami. Jejich nevýhodou je omezená manévrovatelnost, u letounů bez vrtule, umožňující kolmý vzlet a přistání, potřeba vzletové a přistávací dráhy. U bezpilotních letounů tvoří pohonnou soustavu nejčastěji elektrický nebo spalovací motor s tažnou či tlačnou vrtulí, případně proudová turbína. Tah motoru nemusí být tedy nijak velký a let je proto energeticky velmi úsporný. Bepilotní letouny mívají vyšší letovou rychlost, delší výdrž letu a díky tomu jsou využívány k monitorování a mapování větších lokalit, než umožňují multikoptéry. V poslední době vznikají hybridní bezpilotní letouny, které mají taktéž vrtule, umožňující kolmý vzlet a přistání. Samotný let je pak bez použití vrtulí uskutečněn klouzáním jako u letounu. Některé letouny také bývají vybaveny padákem pro kolmý způsob přistání.[5]

Speciálními typy bezpilotních letounů jsou **samokřídla**. Název je odvozen od jejich vzhledu. Tyto letouny jsou tenké a mají aerodynamický tvar připomínající křídlo. Jsou z lehkého materiálu, jako jsou uhlíková vlákna. Vzlet probíhá výhozem z rukou nebo z odpalovací rampy.

### 2.2.2 Koptérové systémy

Konstrukce koptérových systémů se vyznačuje různým počtem vrtulí se stejnosměrnými motory<sup>3</sup>. Pohyb koptérových systémů v prostoru je realizován změnou

---

<sup>3</sup> stejnosměrné motory, anglicky označované jako BLDC (Brush Less Direct Current)

tahu pohonných jednotek. Ke změně otáček motorů slouží regulátory otáček<sup>4</sup>. Multikoptéry jsou letadla, která vyvozují vztlak jiným způsobem, než aerodynamickou silou na nosných plochách. Vrtule rozlišujeme podle smyslu otáčení pravotočivé a levotočivé, mohou být uloženy proti sobě (protiběžně), tudíž na čtyřech ramenech může být celkem osm vrtulí. Právě rozdílné otáčení vrtulí hraje roli při způsobu detekování koptérových systémů viz kapitola 6.(Obrázek 4)



**Obrázek 4:** Smysl otáčení vrtulí u kvadrokoptéry [55]

### 2.2.3 Bezpilotní vrtulníky

Vrtulník je nesen aerodynamickým vztlakem, vznikajícím na poháněných horizontálně rotujících nosných plochách (na jednom či více rotorech). Vrtulník může stát na místě, zatímco je vztlak vytvářen pohybujícím se rotorem. Vzhledem k tomu, že motorem poháněný rotor se pohybuje ve vzduchu a překonává jeho odpor, vzniká v systému krouticí moment, který působí na vrtulník proti směru pohybu rotoru. Nežádoucí rotaci je zabráněno buď menším ocasním rotorem rotujícím vertikálně, který slouží zároveň k ovládnutí vrtulníku kolem svislé osy, anebo použitím dvou nosných rotorů, které rotují opačným směrem. Rotory mohou být umístěny na jedné ose (koaxiální rotor), anebo na dvou samostatných osách. Systém směrového řízení, stabilizace a pohon jsou mnohem složitější než u letounů.[2]

---

<sup>4</sup> označované jako ESC – Electronic Speed Control

### **3 Kritická analýza legislativních podmínek provozu UAS v ČR, resp. v EU**

#### **3.1 Začlenění provozu UAS, právní legislativa**

Provoz bezpilotních leteckých systémů je řešen na mezinárodní i národní úrovni. Stejně jako v případě letounů s lidskou posádkou, mezinárodní legislativní rámec vytváří Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) prostřednictvím vydávání standardů, promítnutých v národní legislativě ve formě národních předpisů každého členského státu ICAO. Annexy jsou v České republice po úpravě pro použití v místních podmínkách vydávány Ministerstvem dopravy ČR jako letecké předpisy řady L.

Problematiku létání s bezpilotními systémy řeší předpis L2 – Pravidla létání, ust. 3.1.9., 3.1.10. a 3.1.12, konkrétně Dodatek 4, Dodatek 5, Doplněk 5 a Doplněk X – Bepilotní systémy. Doplněk X, týkající se nejčastěji provozovaných UAS, bude podrobně rozebrán v kapitole 3 Kritická analýza legislativních podmínek provozu UAS v ČR, resp. v EU.

Veškeré civilní využívání vzdušného prostoru a provoz letadel podléhá v České republice zákonu č.49/1997 Sb. o civilním letectví a o změně a doplnění zákona č. 455/1991 Sb., o živnostenském podnikání (živnostenský zákon), ve znění pozdějších předpisů, resp. v § 44 zmíněném a v §1 odst. 2 vyhláškou odkazovaným pravidlům létání, tedy Leteckému předpisu L2. Zákon o civilním letectví také stanoví podmínky pro udělení povolení k létání. V § 2 odst. 2 se vymezuje model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 25 kg. Prováděcí vyhláška č. 108/1997 Sb. dále stanovuje zejm. v § 14 podmínky provozu UAS mimo letiště.

Provoz bezpilotního letadla musí být dále v souladu s platnými právními předpisy jako například Zákon o nakládání s bezpečnostním materiálem č. 310/2006 Sb., Zákon o ochraně veřejného zdraví č. 258/2000 Sb., Zákon o chemických látkách a chemických přípravcích č. 356/2003 Sb., Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb., Zákon o požární ochraně č. 133/1985 Sb., Zákon o vodách č. 245/2001 Sb., Zákon o životním prostředí č. 17/1992 Sb., ve znění pozdějších předpisů a v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013.[1]

Státní dozor nad dodržováním leteckého zákona v oblasti bezpilotních systémů vykonává Úřad pro civilní letectví a to dle ust. § 90 odst. 1 ve spojení s ust. § 89 odst. 2 písm. o) bodů 2., 5. a 6 zákona o civilním letectví.

### 3.1.1 Meziresortní komise pro bezpilotní systémy při MD

Meziresortní komise byla zřízena jako expertní skupina umožňující vzájemnou diskusi, shromažďování a výměnu informací v oblasti regulace bezpilotních systémů a související problematiky. Činnost Meziresortní komise pro UAS je vedena snahou o lepší vzájemné porozumění a zohlednění odůvodněných zájmů a požadavků jednotlivých resortů a složek státu, dále pak subjektů zabývajících se vývojem, výrobou a provozem UAS a jiných osob, které mohou být regulací dotčeny. Stálými členy Meziresortní komise jsou Ministerstvo dopravy, Ministerstvo obrany (zastupování Ministerstva obrany zde zahrnuje i Armádu ČR), Ministerstvo vnitra (zastupování Ministerstva vnitra zde zahrnuje i Policii ČR a Hasičský záchranný sbor ČR), Ministerstvo průmyslu a obchodu, Úřad pro civilní letectví a Řízení letového provozu ČR, s. p. Mezi stálé hosty se dále řadí ČTÚ, ÚOOÚ, BIS, nepravidelně se účastní např. Asociace výrobců UAS či Asociace provozovatelů UAS, příp. SMČR. Výkonem předsednictví Meziresortní komise pro UAS pověřilo Ministerstvo dopravy na dobu neurčitou Úřad pro civilní letectví.

### 3.2 Mezinárodní dohody a úmluvy týkající se bezpilotního provozu

Letecká doprava a právní odvětví s ní související jsou pravděpodobně nejkompexnějším oborem ze všech oborů ekonomické činnosti. Přestože již Pařížská úmluva po novele z r. 1929 v čl. 15 podmiňuje provoz bezpilotních letadel zvláštním zmocněním každého přelétaného státu (viz dnešní § 52 leteckého zákona) a následně toto přejala i Chicagská úmluva (zák. č. 147/1947 Sb.) v čl. 8, která navíc ukládá každému státu provozujícímu ve společném vzdušném prostoru jakákoliv bezpilotní letadla (vč. modelů letadel) odpovědnost za případné škody způsobené letadlům dalšího členského státu ICAO, další harmonizovaná pravidla se dlouho neobjevovala.

Jednotná legislativa se teprve vytváří. Jistou shodu s historií s lety s posádkou vidím právě v chaotičnosti stávajících regulačních rámců jednotlivých členských států EU, které se od sebe navzájem liší. Některé z členských států EU legislativu v oblasti provozu bezpilotních systémů zatím nepovažují za prioritní. Evropa tedy stále čeká na konsolidovaná jednotná pravidla, byť jejich příprava je již ve velmi pokročilé fázi.

**Riga declaration**, v březnu 2015, přinesla pět základních principů náhledu na UAS.

- Bepilotní systémy je potřeba brát jako nové typy letadel, vytvořit pro ně přiměřená pravidla založená na posouzení rizik jednotlivých letových operací.
- Evropská pravidla musí být vytvořena co nejdříve.
- Technologie a standardy musí být vytvořeny pro plnou integraci UAS do stávajícího evropského ATM systému.
- Klíčem k rozvoji bezpilotních služeb je jejich všeobecné přijetí veřejností.
- Za bezpečné provedení letu je zodpovědný pilot UAS.[6]

**High Level Drone Conference Varšava** - Konference, která se uskutečnila v listopadu 2016, navázala na Řižskou deklaraci z roku 2015. Cílem bylo stanovit výhled do budoucna, jak by mohly vypadat služby poskytované bezpilotními Systémy v EU do roku 2019, identifikovat možnosti v oblasti pracovních příležitostí a rozvoj těchto služeb v souladu s bezpečností, ochrannou soukromí a minimálními dopady na životní prostředí. Na konferenci zazněly nové pojmy jako například U-Space, Very Low Level operations (lety ve vzdušném prostoru do 500 ft AGL mimo řízený prostor). (Obrázek 5)[7]



**Obrázek 5:** Rozdělení UA aktivit ve vzdušném prostoru, nová VLL vrstva (GND vrstva -500ft) [vlastní]

„**Drones Helsinki Declaration**“ Evropská komise, národní letecké úřady a zástupci průmyslu přijali 22. listopadu 2017 v Helsinkách úmluvu, která si klade za cíl přinést pokrok v komerčním létání s drony a zvýšení bezpečnosti provozu bezpilotních systémů v Evropě. Úmluva identifikuje tři základní priority bezpečného provozu, které by měly být realizovány do roku 2019. Těmito prioritami jsou zejména:

- Právní požadavky pro UAS a provoz UAS, bezpečné a efektivní využívání vzdušného prostoru a zavedení funkčního U-space systému. Prvním a zásadním krokem je požadavek na urgentní ustanovení jednotného právního rámce pro provoz dronů v EU.
- Podpora investic a dlouhodobých projektů výzkumu a rozvoje autonomních systémů. EU v současnosti vyhláší sérii výběrových řízení k urychlení zavedení U-Space. Další grantové pobídky budou následovat v roce 2018.
- Nastavení efektivních standardů, které budou přizpůsobeny rychle rostoucímu odvětví digitálních technologií UAS a funkčnímu U-Space trhu.[8]



Aktuální dokumenty platné či ve stadiu vývoje a přehled subjektů, podílejících se na tvorbě legislativy v oblasti UAS v Evropě budou dále popsány v kapitole 3.5 Rozbor legislativních podmínek v EU.

### 3.2.1 Kritický pohled na danou problematiku

Je přínosné, že se uskutečňují setkání na vysoké úrovni a Evropa se snaží integraci bezpilotních prostředků řešit, tempo je však stále výrazně nižší, než rozvoj tohoto odvětví. Z dokumentů je patrné, že se neustále dokola opakují tři zásadní věci – ustanovení jednotného právního rámce pro provoz UAS v EU, jejich bezpečné začlenění do stávajícího vzdušného prostoru a vytvoření standardů pro nové technologie. Zároveň vnímám i pocit obavy, aby Evropský trh nezaostal za Amerikou a Así, které jsou v oblasti provozu bezpilotních systémů o několik kroků dále (viz například koncept LAANC v USA, který bude popsán v kapitole 3.5.7.5).

### 3.3 Podrobný rozbor Doplnku X Předpisu L-2 Pravidla létání

Legislativní začlenění provozu bezpilotních systémů bylo popsáno v kapitole 3.1. V této kapitole bude představen rozbor Doplnku X - Bezpilotní systémy Předpisu L-2. Doplněk X v aktuálním znění tvoří **přílohu 1** diplomové práce.

Doplněk X od svého vzniku v roce 2012 prošel několika novelizacemi. Za zmínku stojí postupná změna náhledu na modelářské aktivity, jejichž příčinou byly rostoucí počty incidentů sblížení s dopravními letadly v blízkosti LKPR. První dokument prakticky vyčleňoval modely mimo svou závaznost. Novelizací v roce 2014 se Doplněk X stává doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg (nyní po novele leteckého zákona **25 kg**).

Pro **modely letadel do maximální vzletové hmotnosti do 25 kg** není požadováno povolení k létání (dále PKL), evidence ani pojištění, závazná je pouze kapitola 7 Prostory. Ostatní ustanovení Doplnku X jsou pro tuto kategorii doporučené.[1]

Pro **bezpilotní letadla do 25 kg pro rekreační a sportovní létání** taktéž není vyžadováno povolení k létání ani evidence, pojištění je nutné jen v případě, že se jedná o letecké veřejné vystoupení, ustanovení Doplnku X jsou pro tuto kategorii závazná. **Bezpilotní letadla ostatní bez ohledu na maximální vzletovou hmotnost** pro profesionální nasazení vždy vyžadují povolení k létání, evidenci i pojištění. Nutné je také Povolení k provozování leteckých prací nebo leteckých činností pro vlastní potřebu a Doplněk X je pro tuto kategorii závazný v celém znění.[1]

Podmínky provozu a nutnost získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě vyplývají z § 52 leteckého zákona. Procesní schéma vydávání takového povolení a veškeré potřebné formuláře jsou k dispozici na webových stránkách Úřadu pro civilní letectví.

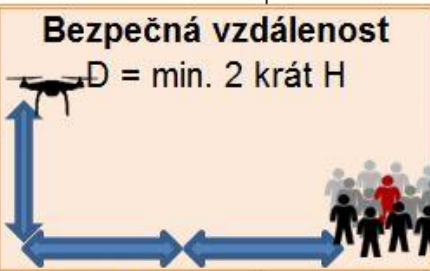
Mimo Doplněk X spadají bezpilotní letouny s vyšší MTOM. Pro provoz bezpilotních letadel **MTOM > 150 kg** jsou uplatňována Pravidla létání jako pro klasická letadla, letouny tedy musí mít Osvědčení letové způsobilosti (OLZ), zaveden způsob řízení údržby, mohou být obsluhovány pouze způsobilým personálem a vždy je vyžadováno Osvědčení provozovatele. Bepilotní letouny **MTOM < 150 kg** nebo bezpilotní letouny pro vědu a experimentální účely mají zjednodušená národní pravidla umožňující provoz bez OLZ. Mohou se provozovat VLOS v bezpečných vzdálenostech od nezúčastněných osob, hustě obydlených oblastí atd. Provoz jiný než VLOS je povolen pouze ve vyhrazeném vzdušném nebo pozemním prostoru.[1]

**Autonomní bezpilotní letadlo** nesmí být provozováno ve společném vzdušném prostoru, což je uvedeno i v ustanovení 7.6 Doplnku X.[1]

Hlavní zásady, popisující vzdálenosti od významných bodů a vymezující výšku letu pro jednotlivé hmotnostní kategorie jsou uvedeny na obrázku 6. (Obrázek 6). Všeobecně je zakázáno létat s drony v zakázaných, nebezpečných nebo jiným uživatelem aktivovaných, omezených, rezervovaných či vyhrazených prostorech, v ochranných pásmech (OP) stanovených příslušnými právními předpisy podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských sítí, tras nadzemních telekomunikačních sítí, uvnitř zvláště chráněných území, v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu. Nad těmito ochrannými pásmy smí být let prováděn pouze způsobem vylučujícím jejich narušení za běžných i mimořádných okolností. Tato pravidla smí být porušena pouze s výjimkou, kdy tak povolí Úřad pro civilní letectví na základě podané žádosti v souladu s postupy uvedenými v AIP, část ENR 1.1.9 (Využívání vzdušného prostoru ČR). Mezi takové výjimky patří i létání v hustě osídleném prostoru (tzv. HOP), létání v národních parcích a chráněných krajinných oblastech. Osoba, která bezpilotní letadlo dálkově řídí, ke své činnosti potřebuje vždy souhlas vlastníka pozemku, ze kterého provádí vzlet a přistání. V některých případech je nutné povolení instituce, která má dané území ve správě. Létání bezpilotními letadly v noci je v České republice prakticky zakázáno (létat lze jen z osvětlených letišť schválených pro noční provoz), činnost lze tedy obecně provozovat pouze od občanského úsvitu do občanského soumraku.[1]

Vzhledem k povaze letů se pro lety bezpilotních letadel a modelů letadel neuplatňují minimální výšky letu dle Hlavy 4, ust. 4.6 a doplnku O, ust. 2.3.3 předpisu L2.[1]

Bezpečnost a odpovědnost za provedení letu, stav bezpilotního systému a znalost a dodržování Doplnku X je vždy plně v kompetenci pilota. Zde je na místě uvést, že za porušení legislativy a pravidel létání s UAS může být v České republice udělena pokuta ve správním řízení za přestupek nebo správní delikt až do výše 5 000 000 Kč, běžně se však pohybuje v řádu jednotek až desítek tisíc korun.

		Hmotnost UA		
		<0,91 kg	0,91-7 kg	>7 kg
Vzdálenost od	ARP AD	< 5,5 km	> 5,5 km pokud není povoleno jinak	
	Osob a majetku	<b>Bezpečná vzdálenost</b>  $D = \min. 2 \text{ krát } H$		>50 m vzlet/přist. >100 m / let
	Hustá zástavba			>150m
	Max. výška	<100 m CTR/ATZ mimo OP letiště	100 m v CTR, mimo max. 300 m AGL	
	Oblačnosti	Ve vzdušném prostoru třídy G vně oblaků Ve vzdušném prostoru jiné třídy 1500 m horizontálně a 300 m vertikálně		

Obrázek 6: Dodržování vzdáleností při provozování UAS dle hmotnostních kategorií (vlastní obrázek dle [1])

### 3.4 Analýza vybraných témat z Doplnku X

Z Doplnku X jsem vybrala následující témata, která jsou podle mého názoru sporná, či nelehce uchopitelná a aplikovatelná v praxi.

#### 3.4.1 Definice ochranných pásem letiště

V textu ust. 7 Doplnku X se několikrát objevuje podmínka provedení letu „**mimo ochranná pásma daného letiště**“. Běžný uživatel bezpilotního systému, i když bude uvědomělý, a seznámí se poctivě se všemi ustanoveními Doplnku X, dozví se z vysvětlujících obrázků a přiložené legendy význam OP a přibližný tvar, není pro něj však snadné získat konkrétní hodnoty takových OP a tyto informace pak využít v praxi. Údaje o druzích a konstrukci ochranných pásem jsou dostupné v kapitole 11.1. Předpisu L14, který tvoří **přílohu 2** diplomové práce.

Posuzují-li se žádosti o NSF (nestandardní) lety v CTR, k vyhodnocení dané zájmové lokality se využívají právě hodnoty ochranných pásem **s výškovým omezením staveb**. Filosofie posuzování je založená na skutečnosti, že pod OP s výškovým omezením staveb nemůže dojít ke kolizi s řízeným IFR letem. Přístrojové příletové a odletové tratě jsou konstruovány tak, aby respektovaly průběh těchto OP. Uvnitř OP se ale mohou pohybovat řízené lety VFR a ZVFR.

Konstrukce ochranných pásem není jednoduchá a situaci provozovateli bezpilotních systémů neulehčuje. V kapitole 4 bude představen návrh nově definované No-Fly-zóny pro bezpilotní činnost, který má potenciál ulehčit zodpovědným uživatelům vzdušného prostoru pohyb v CTR a dostát tak podmínce pohybu mimo ochranná pásma stanovená v Doplňku X.

### **3.4.2 Uplatnění požadavku na získání letového povolení, oboustranné radiové spojení a vybavení odpovídačem**

Doplňek X umožňuje stanovištěm řízení letového provozu vznést požadavek na získání letového povolení a na stálé obousměrné spojení se stanovištěm řízení letového provozu. Vybavení letadel odpovídačem SSR je popsáno v Letecké informační příručce ČR (AIP) v kapitole GEN 1.5.1.

Tyto dodatečné požadavky bývají v praxi uplatňovány zejména při vydávání souhlasného stanoviska k provedení nestandardních letů v CTR (NSF) v bezprostřední blízkosti vzletové a přistávací dráhy nebo při činnosti, která by svoji povahou mohla být potenciálně konfliktní s ostatním řízeným provozem. V takovém případě je vždy vyžadována telefonická koordinace před zahájením činnosti i po jejím ukončení. K získání **letového povolení** dochází při telefonické koordinaci mezi řídicím dálkově řízeného letadla a stanovištěm řízení letového provozu. Stanoviště řízení letového provozu vydá letové povolení v souladu s provozní situací.

Investice do **vybavení odpovídačem sekundárního radaru**, i přesto, že jde o finančně nákladnější záležitost, pro profesionální společnosti zabývající se výdělečnou činností v oblasti Leteckých prací bezpilotními letadly, nebývá překážkou. Takové odpovídače mohou být velmi subtilní, viz kapitola 6.1.2.

Stanoviště řízení letového provozu, dle Doplňku X, může také uplatnit požadavek na **stálé obousměrné spojení**, ale dostává tak do neřešitelné situace žadatele o povolení NSF letu. Pro splnění tohoto požadavku musí provozovatel UAS vlastnit licenci na rádiovou komunikaci (Všeobecný případně Omezený průkaz radiotelefonisty letecké pohyblivé služby) a individuální oprávnění k využívání rádiových kmitočtů letecké pohyblivé služby. Při aplikaci současného znění zákona č. 127/2005 Sb., o elektronických komunikacích a o změně

některých souvisejících zákonů nejsou provozovatelé UAS schopni získat takové individuální oprávnění, jelikož znění zákona nepočítá s bezpilotním systémem a uvádí, že radiostanice musí být umístěna na „letadle“, což je při provozu UAS nereálné a nelogické. Zákon je poplatný době vzniku, kdy řešil pouze pravidla vytvořená pro letadla s posádkou na palubě. Letadlová stanice musí být součástí letadla, nelze tedy za splnění požadavku považovat využití přenosné radiostanice. Dle dostupných informací Úřad pro civilní letectví v současné době výjimku nepovoluje.

Dle mého názoru by mělo dojít k úpravě stávajícího znění zákona nebo k domluvě mezi ČTÚ a ÚCL o udělování výjimek alespoň do doby, než bude zákon zohledňovat provoz bezpilotních systémů.

Česká republika se již v roce 2012 zařadila, jako jedna z prvních v Evropě, mezi státy, které právě Doplnkem X Předpisu L2 nastavily pravidla pro provoz bezpilotních systémů. Současný legislativní rámec bezpilotního provozu absolutně neřeší aktivity jako např. Geofencing, Geo-awareness, nebo elektronickou identifikaci. Je třeba nastavit standardy tak, aby byly maximálně vyhovující po stránce bezpečnosti, ochránili zájmová území a důležité strategické objekty a prostory, ale zároveň aby nebránily rozvoji tohoto odvětví například úzkou spoluprací s výrobcí bezpilotních systémů. Jistě bude důležité udělat i velký legislativní krok v oblasti autonomních bezpilotních systémů.

### **3.5 Rozbor legislativních podmínek v EU**

Absence jednotné legislativy pro Evropu dala vzniknout mnoha pracovním skupinám na různých úrovních. V kapitole pojednávající o legislativních podmínkách v Evropě bych chtěla jmenovat nejvýznamnější subjekty, které se na vzniku jednotné legislativy podílejí a přehledně shrnout důležité dokumenty, které byly v průběhu let vydány.

#### **3.5.1 Organizace podílejší se na tvorbě legislativního rámce**

**Nejvýznamnější subjekty podílejší se na vzniku jednotné legislativy jsou:**

- **Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO)**, je mezivládní organizace přidružená k OSN, která má za úkol koordinovat mezinárodní civilní letectví. Bepilotním letadlům se ICAO začalo systematicky věnovat od r. 2007 založením UASSG (studijní skupiny pro UAS) jakožto poradního orgánu složeného z odborníků z mnoha států, vč. ČR.
- **Evropská agentura pro bezpečnost v letectví (EASA)** je agenturou EU, zřízenou v roce 2002 na základě kapitoly III nařízení č. 1592/2002 o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Evropské agentury pro bezpečnost letectví

se záměrem poskytovat vysokou a jednotnou úroveň bezpečnosti v oblasti civilního letectví. Jejimi partnery jsou úřady pro civilní letectví každé země<sup>5</sup>.

- **Evropská komise (EC)** – při Evropské komisi byla v srpnu 2017 zřízena expertní skupina (Expert Group on Drones), zabývající se problematikou UAS, zejména řešením letů v nízkých výškách (VLL).
- **JARUS** – (Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems) je uznávanou entitou, jejíž provozní, technická a bezpečnostní doporučení související s provozem bezpilotních systémů následně přejímá jednak EASA pro další zpracování Evropskou komisí do formy Nařízení EU, jednak další CAA ze třetích zemí ve snaze o dobrovolnou harmonizaci a rovněž se jejich výstupy odráží v přístupu ICAO.[10]
- **Eurocontrol** je evropská mezinárodní organizace, jejímž cílem je rozvoj systémů a postupů pro plynulé řízení letového provozu pro umožnění dalšího rozvoje letecké dopravy při udržení vysoké úrovně bezpečnosti a snižování nákladů.[11]
- **EUROCAE** je nezisková organizace, která se zabývá výhradně tvorbou standardů pro pozemní i letecké (airborne) systémy a zařízení. Standardy EUROCAE jsou tvořené tak, aby byly přímo aplikovatelné v mezinárodním měřítku, EUROCAE podporuje provozní a legislativní procesy a vývoj. Aktivita v oblasti bezpilotních systémů je pokryta pracovní skupinou „WG-105/ Unmanned Aircraft Systems (UAS)“. Tato pracovní skupina obsahuje jednotlivé podskupiny zabývající se tématy, jako je například UAS Traffic Management (UTM), Command, Control and Communication (C3), „Detect and avoid“ (DAA), Design and Airworthiness Standards, Specific Operations Risk Assessment (SORA) a Enhanced UAS Automation (ERA).[12]

### 3.5.2 Výzkum a vývoj (R&D) v oblasti bezpilotních systémů

V oblasti bezpilotních prostředků probíhá mnoho aktivit na poli výzkumu a vývoje. Pro ucelenost bych zmínila projekty v rámci SESAR a SESAR Joint Undertaking (SJU). Dále pak projekty zastřešené subjekty jako jsou například JARUS, ICAO a EASA. Stále častěji jsou do programů R&D zapojováni i zástupci průmyslu.

### 3.5.3 Klíčové dokumenty vydané k problematice provozu bezpilotních prostředků

Dokumenty jsou pro přehlednost řazené chronologicky do tabulky (Tabulka 1) s odkazy na původní zdroj a nebudou dále rozváděny. Pozornost bych chtěla věnovat pouze návrhu nového legislativního rámce pro Evropu (NPA 2017-05), který vydala agentura EASA v roce 2017 a který bude základem pro změny v českém legislativním prostředí.

---

<sup>5</sup> v ČR Úřad pro civilní letectví

**Tabulka 1:** Klíčové dokumenty vydané k problematice bezpilotních prostředků [vlastní]

Vydáno	Subjekt	Název dokumentu
2011	ICAO	Circular 328 – Unmanned Aircraft Systems [13]
2015	ICAO	Doc 10019 - Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)[14]
2015	EASA	Concept of Operations for Drones – A risk based approach to regulation of unmanned aircraft [15]
2015	SESAR	European ATM Master Plan (kapitola 4.5, stránka 53) [16]
2015/09	EASA	Proposal to create common rules for operating drones in Europe [17]
2015/07	EASA	A-NPA 2015-10 (Introduction of a regulatory framework for the operation of drones) [18]
2015/12	EC	An Aviation Strategy for Europe [19]
2015/12	EASA	Opinion of a technical nature [20]
2016	NASA	Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) Concept of Operations [21]
2016/11	SESAR JU	European Drones Outlook Study [22]
2016	SESAR JU	Demonstrating UAS Integration in the European Aviation System [23]
2016	BALPA, DfT, MAA	Small Remotely Piloted Aircraft Systems-Mid Collision Study [24]
2016	ICAO	Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) Concept of Operations (CONOPS) for international IFR Operations [4]
2017/04	GUTMA	UAS Traffic Management Architecture [25]
2017/06	SESAR JU	U-Space Blueprint [26]
2017/02	Eurocontrol	“Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) ATM Concept of Operations” (CONOPS) [27]
2017/05	EASA	NPA 2017-05 “Introduction of a regulatory framework for the operation of drones — Unmanned aircraft system operations in the open and specific category”, part (A) and (B) [28]
2017/06	JARUS	JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA) [29]
2018/02	EASA	Opinion 01/2018 – the first opinion on safe drone operations in Europe [30]
2018/03	SESAR JU	European ATM Master Plan – Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace [31]

Již z tohoto výčtu je patrné, že snahu o vytvoření jednotné evropské legislativy a snahu podpořit UAS průmysl Evropa má. Letectví je ale velmi konzervativní obor a prosazování jakékoliv změny je komplikované a časově náročné. Členské státy, které již legislativní rámec provozu bezpilotních systémů mají, upravují často letecké předpisy svým potřebám a místním podmínkám. Pro některé členské státy zatím otázka stanovení legislativního rámce provozu bezpilotních systémů nebyla prioritou.

### 3.5.4 NPA 2017- 05 a komentář k návrhu pravidel EU 201X/XXX'

V květnu 2017 EASA publikovala návrh na úpravu pravidel pro lety UAS v Evropě. Tento návrh bylo možné připomínkovat do září 2017. NPA 2017-05 (A) řeší a vysvětluje nově navržená pravidla, NPA 2017-05 (B) obsahuje hodnocení jejich dopadu (impact assessment). Nová pravidla by měla přinést zvýšení bezpečnosti UAS provozu, harmonizovat legislativní podmínky v jednotlivých členských státech EU, umožnit přeshraniční lety a v neposlední řadě podpořit průmysl a trh v tomto perspektivním oboru. EASA při tvorbě návrhu úzce spolupracovala s ICAO, JARUS a FAA. K návrhu bylo poskytnuto více než 3700 připomínek od 215 zainteresovaných subjektů.[30]

V původním návrhu z května 2017 EASA uvažovala zřízení tří kategorií – Kategorie A „**Open**“, kategorie B „**Specific**“ a „**Certified**“. Pravidla kategorie „**Certified**“, do které spadají převážně IFR UAS, jsou řešena v kompetenci ICAO (ICAO Panel) mimo NPA 2017-05. EASA v návrhu neřeší UAS s MTOM>150 kg, protože tyto jsou již nyní v její gesci a předpokládá se, že budou zahrnuty do kategorie C.

V průběhu roku a zřejmě i na základě připomínkového řízení k dokumentu NPA EASA v několika oblastech mírně změnila filosofii. V NPA 2017-05 byly UAS striktně kategorizovány podle MTOM, v nově vydaném draftu návrhu pravidel ((EU) 201X/XXX') se více přiklonila ke kategorizaci UAS podle posuzování možných rizik. Provoz kategorie „**Open**“ reprezentuje nejnižší možné riziko a musí být v souladu s požadavky uvedenými v podkapitole A (Part-UAS) nového návrhu pravidel. Činnost UAS kategorie „**Specific**“ musí splňovat technické požadavky definované v povolení k provozu a je pro ni vyžadováno Prohlášení, musí být v souladu se standardními scénáři. Výjimkou je pouze vyhodnocení rizik (prior operational risk assessment ) v souladu s podkapitolou B (Part-UAS) těchto pravidel v případě, kdy je provozovatel zároveň držitelem osvědčení LUC (Light UAS Operator Certificate) s oprávněním autorizovat svoji vlastní letovou činnost v souladu s podkapitolou C (Part-UAS) těchto pravidel. Podkapitola C řeší podmínky získání LUC, odpovědnosti pilota, safety management system (SMS), LUC manuál, práva a povinnosti držitele LUC, platnost a oprávnění LUC a přijatelné způsoby průkazu (AltMoCs).

Kategorie „Open“ se dále dělí na podkategorie A1, A2 a A3 primárně podle způsobu letu a hmotnosti viz Tabulka 2 níže:



**Tabulka 2: Specifika navrhované kategorie "Open" [30]**

Podkategorie	Provoz		UAS				
	Oblast provozu (mimo letiště, max. výška 120 m)	Způsobilost pilota UA (věková hranice dle legislativy jednotlivých MS)	Třída	MTOM	Technické požadavky	Elektronická identifikace/Geo-awareness	Registrace UAS
A1 Létání nad lidmi	Smiš létat nad neúčastnými osobami (ne však nad shromážděním osob)	Čti informace pro spotřebitele	Vlastní stavba	<250g	N/a	NE	NE
			C0		Informace pro spotřebitele, Směrnice o bezpečnosti hraček nebo <19m/s, bez ostrých hran, volitelné omezení výšky		
		Informace pro spotřebitele + výcvikový test	C1	<900g	Informace pro spotřebitele, <19m/s, kinetická energie, mechanická pevnost, bez ostrých hran, řešení ztráty signálu, volitelné omezení výšky		
A2 Létání v blízkosti osob	Smiš létat v bezpečné vzdálenosti od neúčastných osob	Online výcvikový test, teoretický test v zařízení pověřeném leteckým úřadem	C2	<4kg	Informace pro spotřebitele, mechanická pevnost, bez ostrých hran, řešení ztráty signálu, volitelný výškový limit, křehkost, volitelné omezení výšky	ANO + jedinečné výř.č. pro identifikaci	ANO
A3 Létání zcela mimo osoby	Smiš létat v oblasti, kde se nepředpokládá pohyb jiných osob, udržuj bezpečný odstup od zastavěných oblastí	Čti informace pro spotřebitele, online výcvik, online test	C3	<25kg	Informace pro spotřebitele, řešení ztráty signálu, volitelný výškový limit, křehkost	Pokud požadavek vyplývá z provozní zóny	
			C4		Informace pro spotřebitele, Bez možnosti automatického letu		
			Vlastní stavba		N/a		

### 3.5.5 Kritický pohled na návrh nové evropské legislativy

Návrh nového legislativního rámce pro Evropu je velmi rozsáhlý. Po jeho pečlivém prostudování bude v následujících odstavcích uvedeno několik připomínek, týkajících se ryze českého prostředí.

**Registrační poplatky** (NPA 2017/05 část B, kapitola 5, strana 95) – v návrhu se objevuje pět různých možností registrací (R0 až R4), z nichž čtyři navrhují nějakou budoucí formu harmonizace registrací na úrovni EU pro dálkově řídicího pilota, pro UAS nebo jejich kombinace. Dále se uvádí, že bude v kompetenci jednotlivých národních leteckých úřadů, zda budou tuto registraci zpoplatňovat či ne. Registrační poplatek by měl reflektovat čas a energii strávenou administrativou. Obzvláště pro majitele UAS, spadající do kategorie C1, kam patří poměrně levné drony, mohou další poplatky majitele UAS od registrace odradit. Snaha o vybudování a udržování registračního systému tak může být zmařena lidmi, kteří nebudou ochotni platit registrační poplatek. Dokument by měl vzít v úvahu vliv výše registračního poplatku na ochotu lidí se registrovat. V případě výběru možnosti R4 (registrace na úrovni EU) by měl být poplatek prominut zcela.

**NPA 2017-05 část B, kapitola 1.2.4.4** – V odstavci 1.2.4.4.2 na straně 41 je uvedeno, že v souladu se SERA (Standardised European Rules of the Air), provoz pod 150m vyžaduje povolení kompetentních autorit s výjimkou, kdy je tak učiněno pro vzlet a přistání. Pilotovaný provoz pod 150m není častý.

Tento výrok může navodit dojem, že pilotované lety pod 150m mimo letiště/řízený prostor jsou velmi ojedinělé. V České republice jsou Vyhláškou 108/1997, konkrétně v §14 této vyhlášky (*Charakteristika ploch, vymezení druhů letadel a leteckých činností, při kterých lze ke vzletům a přistáním využít jakékoliv plochy*) popsány podmínky, za kterých může být každá plocha, která není letištěm ani plochou vymezenou ke vzletům a přistáním, využita. Jednou z podmínek vzletu a přistání z takové plochy je písemné udělení souhlasu vlastníkem pozemku, nicméně ve vyhlášce není vyžadováno povolení leteckého úřadu.

Odstavec by měl být přeformulován v souladu se specifiky jednotlivých členských států, kterými je například výše zmíněná podmínka v České republice, nebo by měl být z dokumentu zcela vypuštěn.

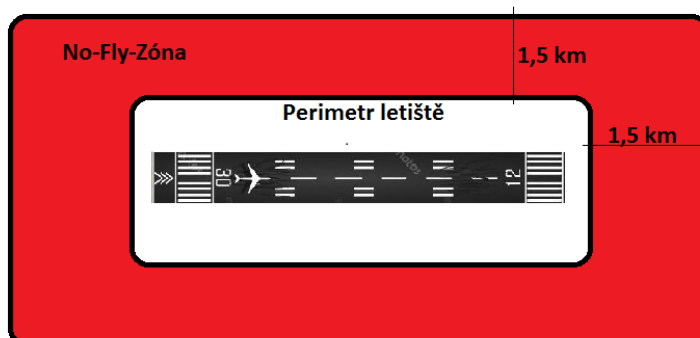
### **3.5.6 Rozbor legislativních podmínek ve vybraných státech Evropy**

#### **3.5.6.1 Legislativní rámec pro provoz UAS v Německu**

V Německu byly představeny nové legislativní podmínky pro lety UAS v květnu 2017. Přináší **povinné označení** všech UAS s MTOM vyšší než 250 g nehořlavým štítkem se jménem a adresou majitele UAS, povinnost **získání pilotní licence** (pro získání takové licence musí budoucí majitel absolvovat 30-40ti minutový test základních znalostí v akreditovaném zařízení pro výcvik) pro piloty UAS o MTOM>2 kg, **získání letového povolení** pro lety s UAS o MTOM>5 kg. **Maximální výška letu** je povolena **100m AGL**. Nad 100 m AGL smí létat pouze na modelářských plochách k tomu určených nebo s povolením příslušného úřadu. **Minimální vzdálenost od shromáždění osob**, sportovních či jiných událostí, zásahu SAR jednotek či policie je **100m**. Německé úřady stanovily následující **No-Fly-zóny**: v residenční oblasti nesmějí létat drony o MTOM > 250 g, lehčí pouze se souhlasem majitele pozemku, chráněné krajinné oblasti, nemocnice, letiště, specifické liniové stavby a další sensitivní oblasti. Lety UAS nad MTOM > 25kg tato pravidla neřeší.[32]

Německo přistoupilo k odlišnému řešení UAS provozu v blízkosti letišť, než Česká republika. Vymezilo vzdálenost 1,5 km od perimetru/plotu letiště, tento prostor je tzv. No-Fly-zónou (Obrázek 7), ve které smí být činnost UAS provozována pouze s povolením úřadu a zainteresovaných subjektů (ATC, letiště). Povolení podléhá posouzení vyhodnocení rizik spojených s plánovaným letem. (Risk based approach for approval based on NfL 1-1163-17 SORA-GER, Annex C). SORA-GER bylo vytvořeno na základě SORA konceptu JARUS

a je založeno výlučně na posouzení rizik souvisejících s bezpečností osob na zemi a ostatních uživatelů vzdušného prostoru.[32]



**Obrázek 7:** Grafické znázornění No-Fly-Zóny kolem letišť v Německu (vlastní podle [32])

Pravidla pro činnost UAS v řízeném vzdušném prostoru se řídí předpisem NfL 1-1197-17, vždy vyžadují povolení ATC a v Německu jsou aplikovaná na 16 mezinárodních letišť. Pokud zamýšlená oblast letu je ve vzdálenosti větší než 1,5 km od perimetru letiště, pod 50 m AGL, let může být realizován pouze jako VLOS a pilot či pozorovatel musí při ztrátě VLOS okamžitě informovat ATC složky.

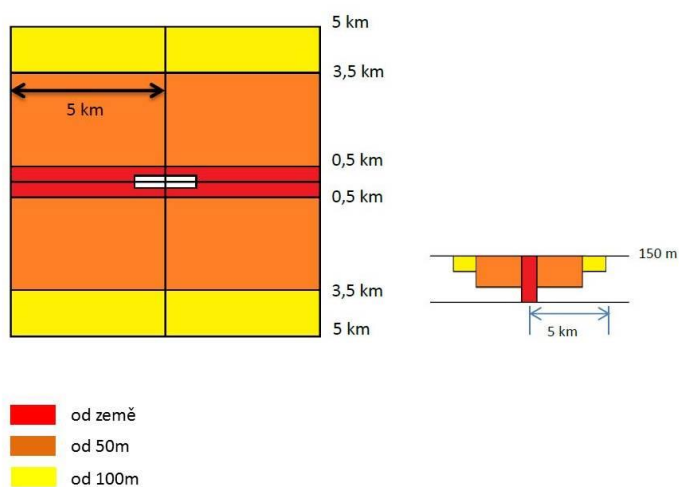
### 3.5.6.2 Legislativní rámec pro provoz UAS ve Velké Británii

Podmínky pro činnosti UAS ve Velké Británii jsou popsány dokumentem CAP 722 (Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace – Guidance). V květnu 2015 byla vydána již 6. edice. Dále se budu zabývat pouze podmínkami pro činnost v řízeném vzdušném prostoru v okolí letišť. Pro tyto lety platí podmínka letu VLOS, max. výška 400ft AGL, resp. 300ft pod London Helicopter tratěmi, vždy dát přednost pilotovanému letounu. Piloti malých UAS (SUA) musí přijmout preventivní opatření k vyhnutí se jakémukoliv letu policejních složek či letů SAR (search and rescue). SUA s MTOM 7-20 kg musí obdržet povolení k NSF letu od ATC. SUA s MTOM < 7 kg nepodléhají požadavku NSF letu ve třídě vzdušného prostoru A, C, D, E nebo v ATZ. Je silně doporučeno létat ve vzdálenosti větší než 5 km od v mapách vyznačených letišť.[33]

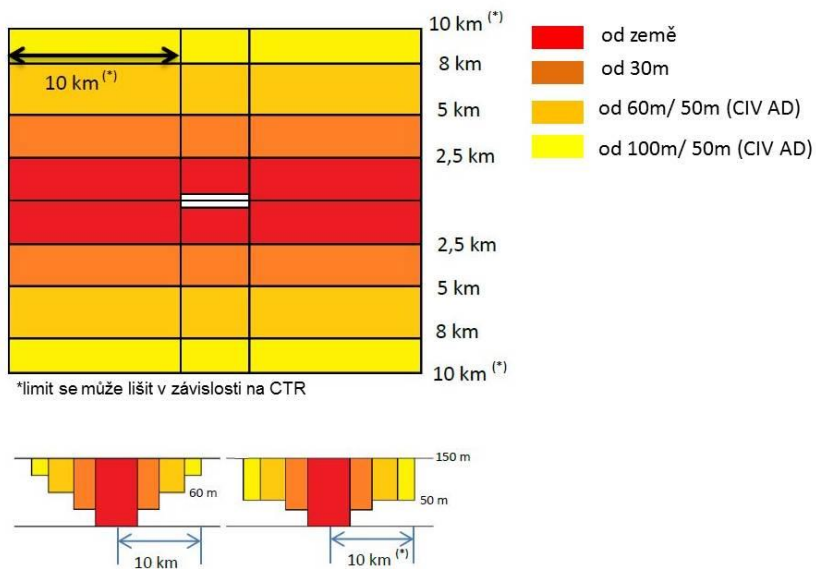
### 3.5.6.3 Legislativní rámec pro provoz UAS ve Francii

Z legislativy Francie uvedu pouze podmínky nastavené pro aktivity UAS v řízeném vzdušném prostoru. Pravidla závisí na typu letiště (přístrojová a nepřístrojová VPD), kde má být aktivita provozována, vzdálenosti od vzletové a přistávací dráhy a předpokládané

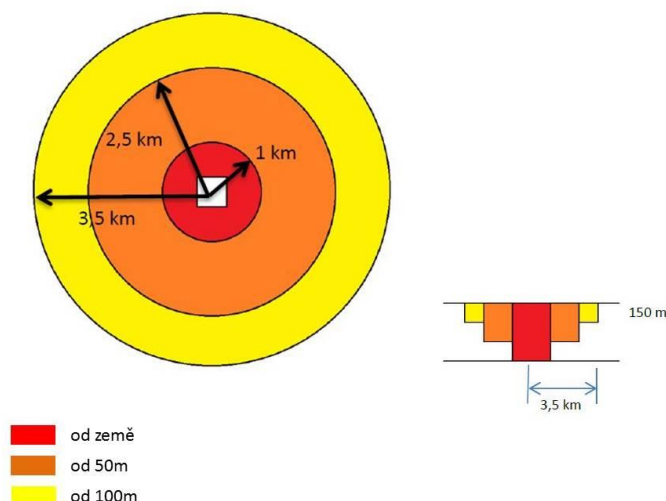
výšce letu. Striktně je vyžadováno povolení ATC a provozovatele letiště. Povolení musí být vydané oficiální cestou a zaprotokolované. (Obrázek 8, Obrázek 9 a Obrázek 10)



**Obrázek 8:** No-Fly-Zóna nepřístrojové RWY kratší než 1200 m ve Francii [34]



**Obrázek 9:** No-Fly-Zóna přístrojové dráhy delší než 1200 m ve Francii [34]



**Obrázek 10:** Provozní podmínky pro lety UAS v okolí heliportu ve Francii [34]

**Kritický pohled na daná řešení:** Při studiu řešení legislativního rámce jednotlivých členských států EU byly vybrány právě Německo, Velká Británie a Francie. V jejich případě nelze nic kritizovat, jsou to státy, kde mají problematiku provozu UAS velmi zdařile popsanou. Řešení No-Fly-Zóny kolem řízených letišť je v každém z uvedených států řešeno odlišným způsobem.

### 3.5.7 Rozbor legislativních podmínek v USA

V USA existují následující možnosti, jak létat s UAS legálně.

#### 3.5.7.1 Speciální pravidla pro létání s modely letadel (section 336)

Tou první je létání pro zábavu či rekreační účely, které je vymezeno ustanovením 336 veřejného zákona 112-95, kde je přesně definováno, co znamená „model letadla“ a jaké činnosti lze pod tato pravidla zahrnout. Pro létání s modely platí doporučení létat v rámci modelářských klubů, vždy dávat přednost letadlům, létat ve vzdálenosti větší než 5 NM od letiště (pod 5 NM od letiště koordinovat se složkami řízení letového provozu), nelétat nad osobami, citlivými oblastmi atd. Pokud jsou doporučené podmínky dodrženy, mohou modely létat bez jakýchkoliv povolení a mají i výjimku na registraci UA. Samozřejmě platí, že létání je pouze VLOS.[35]

#### 3.5.7.2 Výjimka 333 z leteckého zákona (Sec. 333 exemption, Certificate of Waiver or Certificate of Authorization - COA)

Na základě výjimky 333 z leteckého zákona lze létat bez Osvědčení letové způsobilosti, i bez licence dálkově řídicího pilota. Donedávna to byl v USA jediný prakticky možný způsob, jak provozovat profesionální UAS. Způsob je obdobou českého Povolení k provozování

leteckých prací (PKL), kdy se pro letadlo uděluje individuální výjimka z leteckého zákona, obsahující individuální podmínky pro let. Pravidla se týkají i UAS státních například policejních, celních, ale navíc také UAS určených pro výzkumné účely.

Držitelé této výjimky mohou do vypršení platnosti i nadále létat podle výše uvedených podmínek, případně mohou od září 2016 získat průkaz dálkově řídicího pilota (remote pilot certificate), jehož nabytí není v USA tak složité a formální, registrovat UA a létat podle nových obecných SUAS pravidel – viz dále.[35]

### **3.5.7.3 Nová pravidla pro malá UAS - CFR Part 107 (new SUAS rule)**

V srpnu 2016 FAA představila nová pravidla pro létání s malými UAS (new SUAS rule), která jsou velmi podobná pravidlům pro navrhovaná evropská pravidla pro kategorii „Open“. (provoz UAS do 25 kg). Oproti Evropě však v USA kladou větší důraz na kompetenci dálkově řídicích pilotů, evropská pravidla využívají možnosti technických omezení UAS prostřednictvím technických požadavků na výrobce bezpilotních systémů (součást NPA 2017-05).[36]

Pro splnění pravidel SUAS platí následující podmínky:

- získání licence dálkově řídicího pilota (je omezeno věkovou hranicí 16+ a složením písemné zkoušky z teorie. Držitelé klasické pilotní licence mají zkoušku zjednodušenou na absolvování online testu.),
- registrace bezpilotního letadla (do 25 kg),
- dodržování obecných omezení (let ve třídě vzdušného prostoru G do 400 ft, létání pouze VLOS, ve dne, max. rychlostí pod 100 mph a mimo osoby na zemi).

V případě dodržení těchto podmínek není třeba udělení výjimky 333.[36]

Na téměř všechny podmínky SUAS pravidel (včetně létání nad lidmi či v řízeném prostoru) lze získat individuální výjimku - v žádosti je třeba uvést analýzu navýšených rizik a návrh na jejich zmírnění.[36]

Výjimka je udělena speciálním povolení FAA (waiver) dle Sec. 333 (obdoba českého jednorázového PKL pro let nad rámec obecných pravidel - např. HOP). Doporučená doba podání žádosti je **90** dní před letem.

### 3.5.7.4 Registrace UAS[37]

Oblastí, ve které jsou v USA o krok napřed před Evropou, je povinná registrace (Tabulka 3):

Tabulka 3: Typy registrace UAS v USA [37]

Typ registrace	Podmínky	Formát RZ
<b>Jednoduchá</b>	povinná pro všechna UA <b>250 g až 25 kg</b> , Poplatek 5 USD/3 roky, věkové omezení 13+. Uvedení emailové adresy, čísla kreditní karty, adresu trvalého pobytu, značky a modelu UAS. V případě provozu pro zábavu stačí identifikace provozovatele, u profesionálních firem musí být uvedena identifikace UAS.	<b>FA-000-001</b>  (umožňuje až 1 mil. Kombinací)
<b>Klasická</b>	povinná pro <b>UA nad 25 kg</b> , dále pro všechna státní UA. Volitelná pro ty, kteří potřebují klasickou N- registrační značku (pro provoz v zahraničí nebo pro pronájem letadla). Poplatek činí 5 USD (10 USD za značku na přání)	<b>N + až 5 čísel nebo 3 čísla a 2 písmena</b>  (umožňuje 1,23 mil. Kombinací)

Pro srovnání v České republice můžeme v současné době přidělit „pouze“ cca 27 000 registračních značek ve formátu **OK-písmeno-tři číslice-písmeno**.

### 3.5.7.5 FAA UAS Data Exchange – koncept LAANC

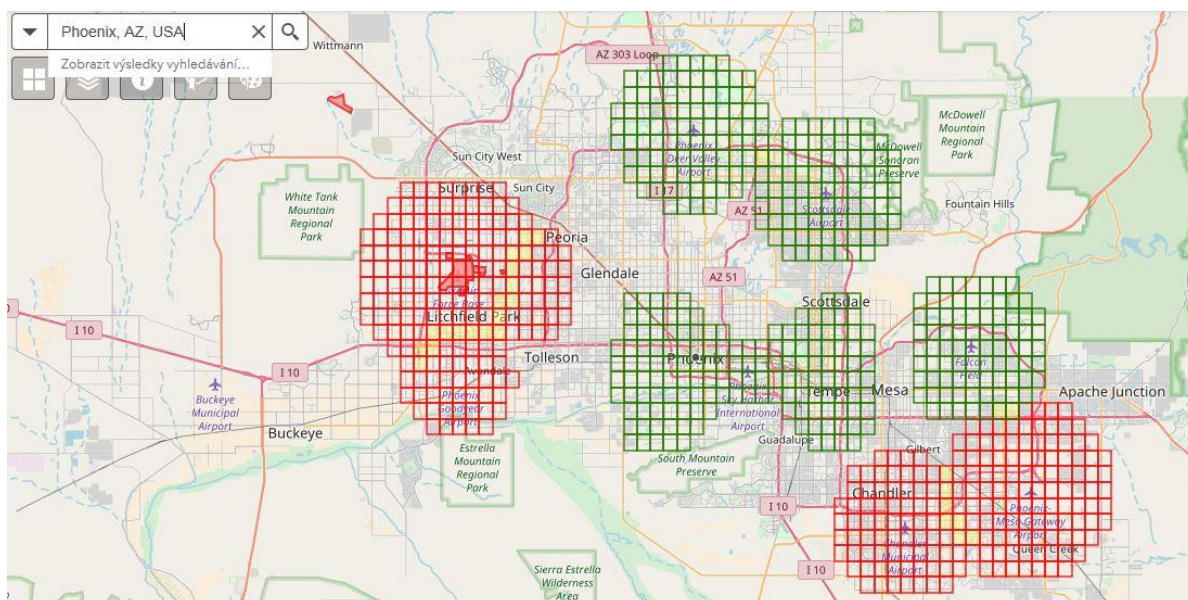
Jde o zavedení rozsáhlého **UTM** systému, přičemž jeho prvním krokem je právě testování a zavedení **Low Altitude Authorization and Notification Capability**, která usnadňuje žadatelům zdoluhavý proces povolení nadstandardního letu v řízeném prostoru. Je výsledkem spolupráce FAA a zástupců průmyslu a přímo podporuje integraci UAS do stávajícího vzdušného prostoru v USA. Žadatelé mají možnost porovnat maximální výšku letu v zájmové oblasti, ve které chtějí svou činnost provozovat. Pokud je pro ně tato výška dostatečná, „podají FPL“ přes aplikaci UTM a čekají na **automatické** povolení letět v řízeném prostoru v blízkosti letišť nad rámec obecných pravidel. Schvalování tedy probíhá v real time procesu. FAA UAS Data Exchange, provádí kontrolu s aktuálními omezeními ve vzdušném prostoru, kontroluje NOTAMy atd. Zavedení UTM zároveň poskytuje složkám řízení letového provozu „vidět“, kde a kdy jsou takové lety plánovány.[38]

Piloti, kteří v minulosti plánovali let ve výšce **pod 400ft** v řízeném prostoru za podmínek stanovených small UAS pravidly, museli vždy obdržet od FAA autorizaci k letu. Tento proces byl časově velmi náročný (až **90 dní**). Systém automatického schvalování LAANC dramaticky

snížil počet takových žádostí. Při žádostech o lety pod 400ft je nyní toto schvalování téměř automatické. Na Obrázek 11 jsou vidět jednotlivé zóny, zřízené kolem letišť v okolí Phoenixu ve státě Arizona. Zeleně jsou znázorněny prostory, které jsou již aktivní v rámci LAANC, červeně prostory, které zatím nejsou oficiálně použitelné (pozn. systém LAANC se nasazuje postupně). Na tvorbě a poskytování LAANC UAS služeb se v USA podílejí společnosti AirMap, Project Wing, Rockwell Collins a Skyward. V dubnu letošního roku FAA oznámili, že do poloviny září 2018 bude BETA test LAANC rozšířen na 500 letišť napříč USA.[38]

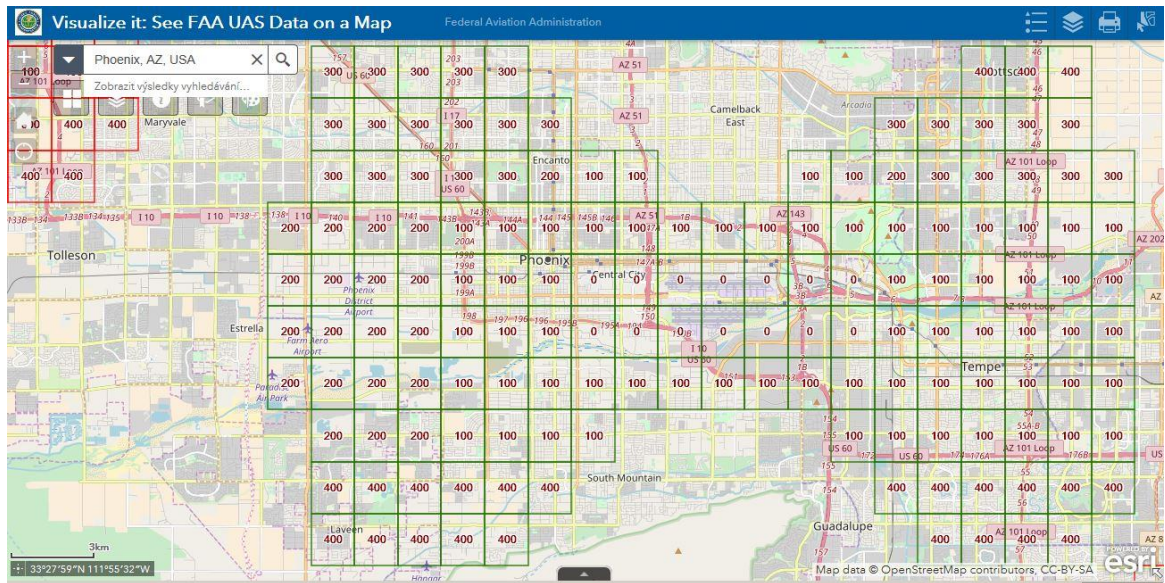
Na detailnějším Obrázek 12, mezinárodního letiště Phoenix Sky Harbor, jsou již vidět stanovené maximální výšky letu (strop) pro činnost UAS. Z obrázku je patrné, že čím blíže aktivita k letišti probíhá, tím je strop pro tuto činnost nižší. V prostoru v bezprostřední blízkosti VPD je tedy logicky nulová.

Zavedený UTM systém v USA dovoluje promítnout LAANC do aplikace AirMap, která registrovaným uživatelům vzdušného prostoru jednoduše znázorní podmínky letu. Následující obrázky ukazují podmínky pro let v řízeném vzdušném prostoru, informaci o nutnosti povolení k letu od FAA, a zároveň informaci, že do výšky 100ft (Obrázek 13) respektive 300ft v oblasti dále od VPD letiště Phoenix (Obrázek 14) lze získat povolení k letu **automaticky**.

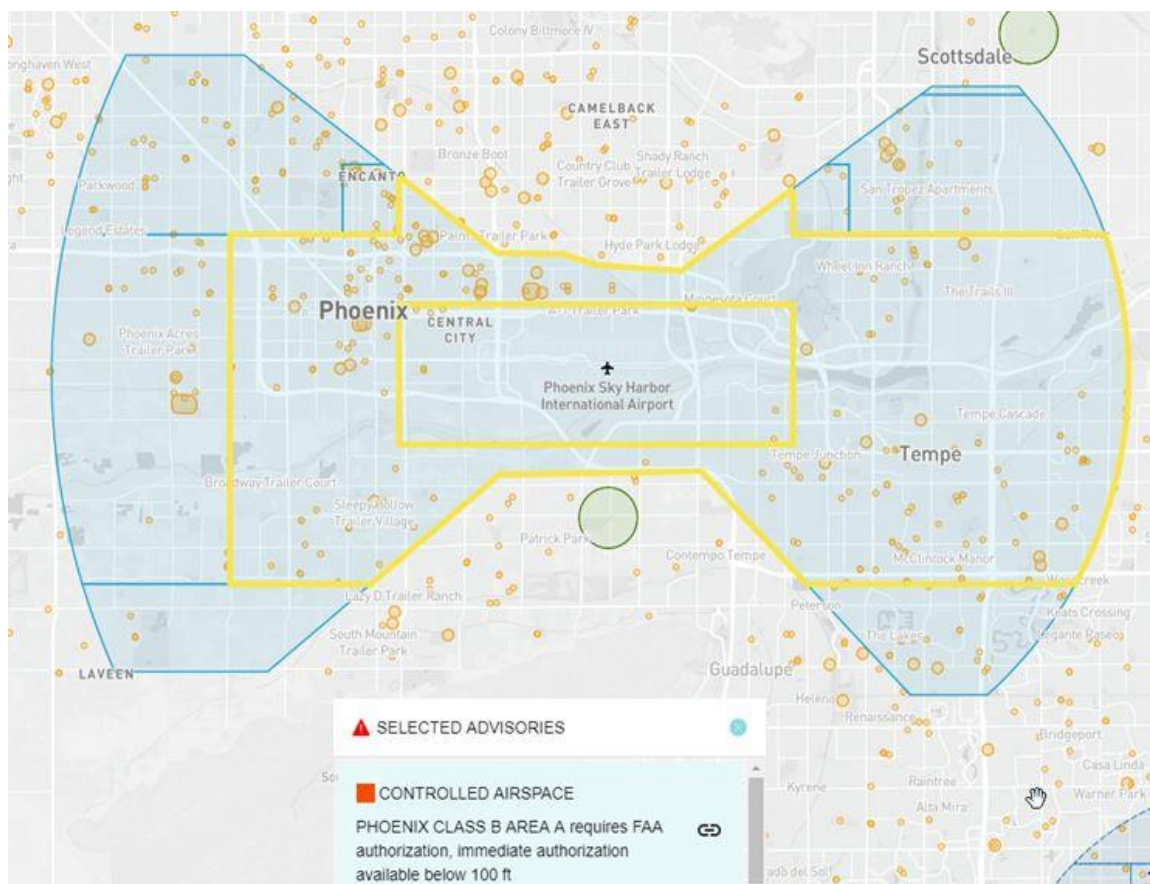


**Obrázek 11:** Řízené prostory v okolí města Phoenix, Arizona, USA [39]

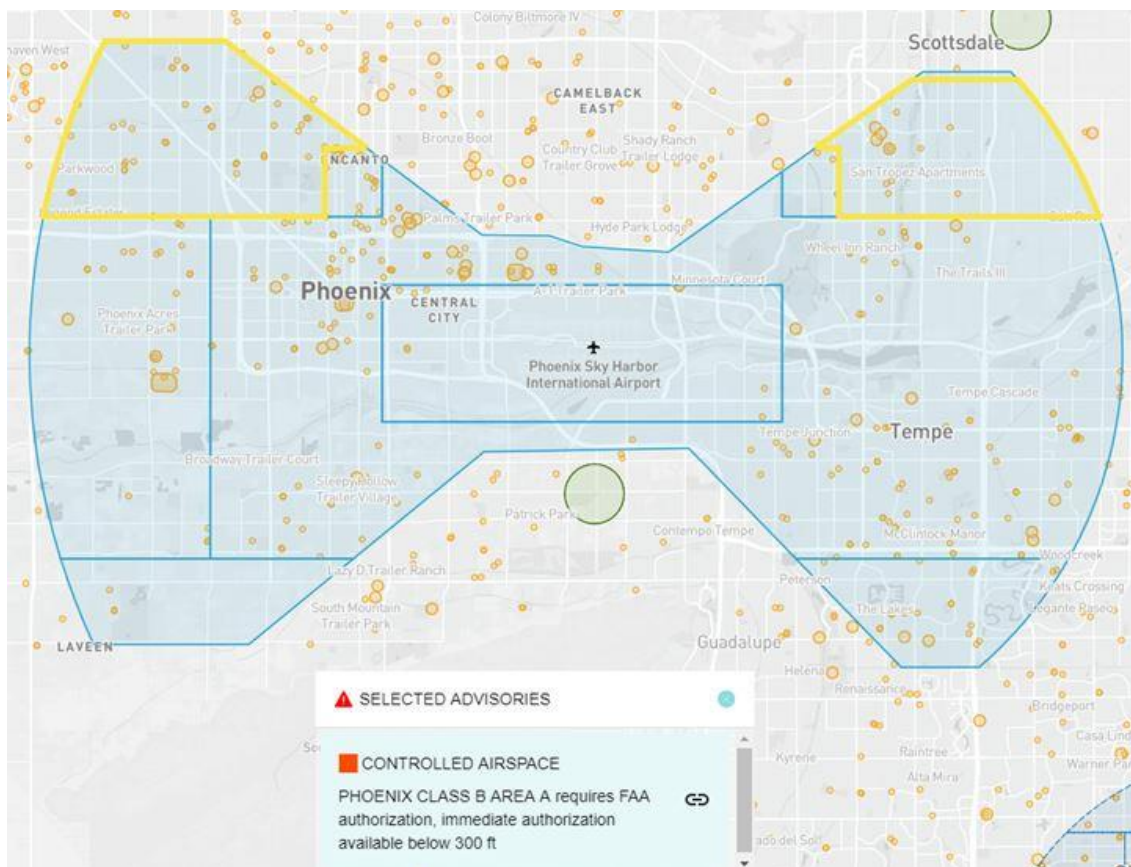




Obrázek 12: Podrobný náhled na řízený prostor letišť Phoenix Sky Harbor [39]



Obrázek 13: Oblast automatického schválení letů do 100 ft [40]



Obrázek 14: Oblast automatického schválení letů do 300 ft [40]

### 3.6 Definice UTM, aplikace související s UTM

UTM systém (Unmanned Traffic Management) je takový systém, který umožňuje spolupráci a výměnu informací mezi dálkově řídicím pilotem a poskytovatelem služby řízení letového provozu. Umožňuje provést identifikaci a lokalizaci bezpilotních systémů, včetně jejich letového plánu, což otevírá možnost managementu letových povolení pro konkrétní let nebo pro konkrétní lokalitu.

**Pohled na problematiku UTM** - v době vzniku Doplněk X nebylo povědomí o UTM, v České republice neexistovaly aplikace pro mobilní či jiná zařízení, které by pomohly se správou letů a případným povolovacím a schvalovacím procesem. Vývoj v oblasti bezpilotních systémů tyto možnosti přinesl a nyní je čas je využít. Uživatelům aplikace přinese informace o vzdušném provozu a bezletových zónách v reálném čase. Uživatelé UAS budou využíváním služeb UTM systému přispívat informacemi o své poloze vytvořením zjednodušeného letového plánu. Jednou z výhod systému je možnost dynamického vytváření bezletových zón pro UAS různými autoritami a v konečné fázi i možnost automatického geo-fencingu díky implementaci výrobcem do firmware UAS. UTM systém by měl UAS uživatele motivovat k využití této platformy množstvím doplňkových funkcí klientské aplikace, jako jsou například vedení letového deníku, správa UAS nebo stavu

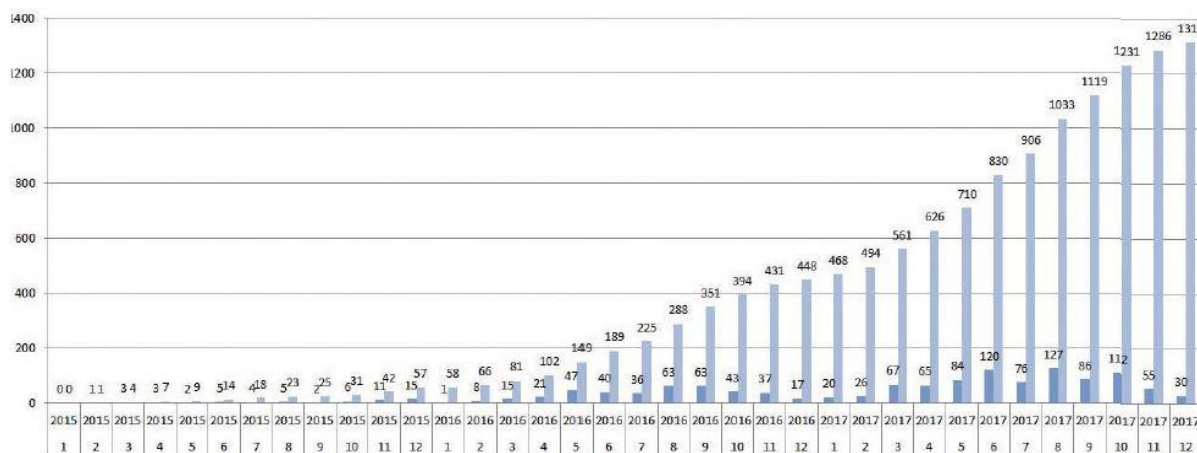
baterií. UTM platforma se může stát užitečným přehledovým nástrojem a mechanismem pro kooperující UAS.

Na území České republiky v současné době takovou aplikaci poskytuje například společnost UpVision pod názvem MAIA. Nově nabízí podobný systém slovenská R-SYS s produktem IXO UAS. Ze zahraničních poskytovatelů UTM systémů bych jmenovala například americkou společnost AirMap, belgickou Unifly nebo britskou Altitude Angel.

## 4 Návrh postupu posuzování, schvalování a koordinace provozu UAS v CTR, uplatňovaného místně příslušným stanovištěm APP

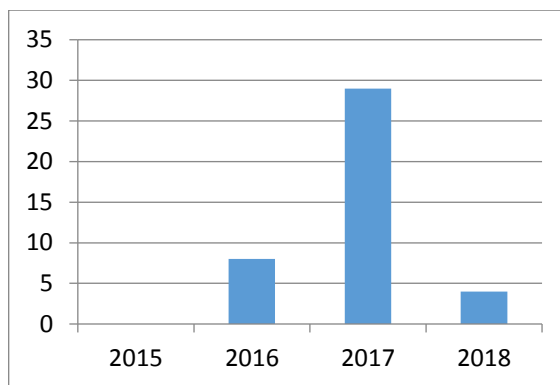
V kapitole 3.5.7.5 byl podrobně popsán koncept LAANC, který se stal inspirací pro návrh nového postupu posuzování žádostí o lety v CTR i v České republice. V návrhu se budu zabývat pouze CTR Ruzyně, zřízeného jako ochranný prostor pro přistávající a odlétávající provoz na/z Letiště Václava Havla v Praze (dále jen LKPR). V případě pozitivního přijetí návrhu ze strany ÚCL, stanovištěm řízení letového provozu i provozovatelů UAS může být tento návrh aplikován plošně na všechna CTR v České republice. Vybrané obrázky uvedené v této kapitole jsou připojeny ve větším a čitelnějším formátu v přílohách.

Počty žádostí o Povolení k létání bezpilotního letadla nad rámec standardních provozních omezení v České republice každoročně vzrůstají. Vývoj je patrný na grafu 1. (Graf 1)



Graf 1: Vývoj počtu vydaných jednorázových PkL nad rámec standardních omezení [41]

Podle statistik Úřadu pro civilní letectví bylo v posledních třech letech evidováno celkem 36 žádostí o lety v CTR Ruzyně (Graf 2). V celé České republice pak počet takových povolení jen v roce 2017 dosáhl počtu 936 žádostí.[41]



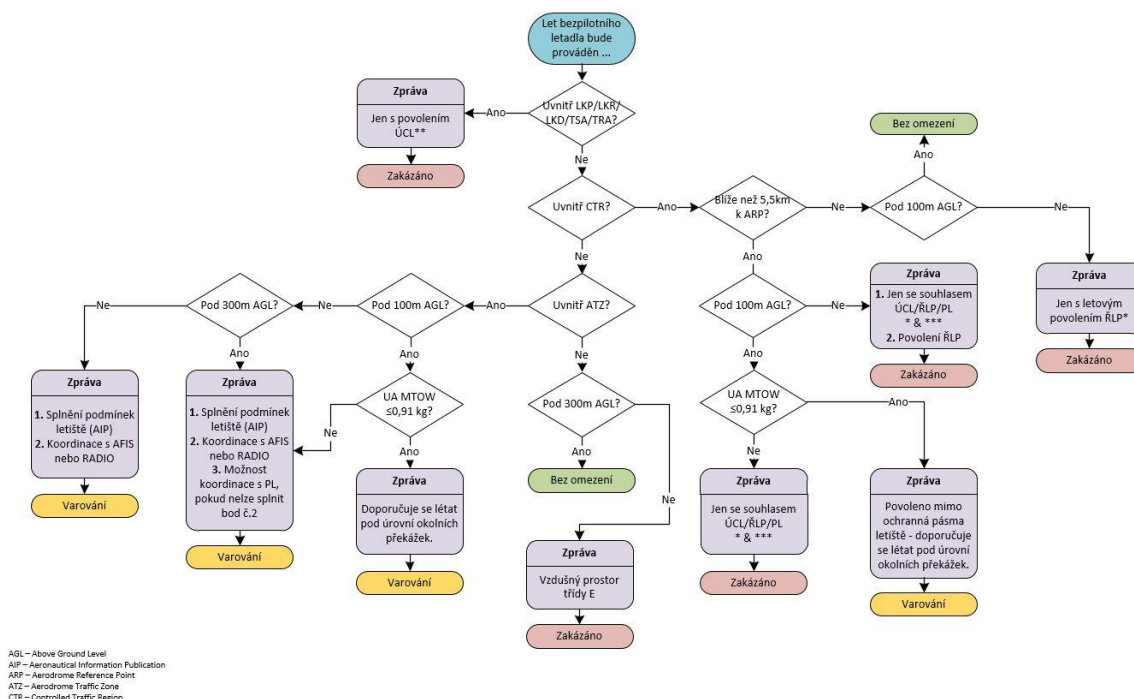
Graf 2: Počet žádostí o NSF let v CTR Ruzyně adresovaných ÚCL [41]

Poznámka: 18 žádostí z roku 2017 bylo evidováno až v druhé polovině roku (červenec – prosinec).

Údaje z roku 2018 jsou za období leden – duben.

#### 4.1 Popis stávajícího procesu při povolování letů dle Doplnku X

Pro snadnější orientaci v pravidlech Doplnku X poslouží vytvořený rozhodovací strom (Obrázek 15), který je výtažkem z tohoto předpisu a znázorňuje proces povolování letů nejen v CTR. Tento obrázek je pro lepší čitelnost uveden v příloze 4 ve větším rozlišení.



Obrázek 15: Rozhodovací strom - výťah z Doplnku X Předpisu L-2 [vlastní]

Žadatel se řídí postupy pro nestandardní typy letů, uvedenými v AIP, část ENR 1.1.11.1. (Nestandardní typy letů v řízeném vzdušném prostoru). Jeho povinností je zaslat žádost pracovišti AMC ČR, které náleží ŘLP ČR, s.p., nejméně 3 pracovní dny před zamýšlenou činností. V současné době se nejvíce využívá emailová korespondence ([amcpraha@ans.cz](mailto:amcpraha@ans.cz)). Náležitosti žádosti jsou uvedeny v AIP, část ENR 1.1.11.1.2. Pracoviště AMC ČR vyhodnotí

podanou žádost na základě posouzení zamýšlené oblasti, provozních podmínek, a požadované výšky letu. Pokud je potřeba, vyžádá před vydáním předběžného povolení k letu, posouzení požadované výšky letu s ochrannými pásmy výškových staveb a s příletovými a odletovými tratěmi.

Schválené žádosti jsou evidovány pořadovým číslem, které však znamená pouze předběžné povolení k letu. V den činnosti musí osoba zamýšlející činnost 1 hodinu před zahájením činnosti vyžádat povolení od příslušného stanoviště (APP/TWR Praha). Tato komunikace probíhá u žadatelů o UAS činnost většinou telefonicky.

## **4.2 Důvody k zavedení nového způsobu posuzování UAS letů v CTR Ruzyně**

Doplňkem X nastavená pravidla pro lety UAS v CTR, opřena kolem kružnice 5,5 km od vztažného bodu letiště (ARP), se jeví jako nevyhovující hned z několika důvodů. Kružnice nepokrývá veškerý potenciálně konfliktní prostor kolem LKPR mezi UA a vzlétajícími či přistávajícími letadly. V některých místech, vymezených touto kružnicí, je naopak vzdálenost zbytečně limitující pro potenciální zájemce o činnost. Návrh, který bude představen, lépe respektuje dráhový systém na LKPR. V budoucnu by mohl být integrován do UTM systému.

Koncept LAANC, kterým je návrh inspirován, se v USA ujal a osvědčil, a proto se domnívám, že ČR by mohlo jít podobnou cestou v integraci bezpilotních systémů. Zavedení UTM a zjednodušení systému schvalování pomůže urychlit proces integrace. Řízení letového provozu ČR, s.p., je v současné době ve fázi hodnocení výsledků veřejné soutěže na poskytovatele UTM systému. Výběr by měl být uzavřen v měsíci červnu 2018. V průběhu testování systému bude vhodná doba na případné změny v Doplnku X, které by mohly být do UTM systému implementovány.

V kapitole 3.4.1 byla popsána problematika týkající se ochranných pásem. Jejich přímou integrací do návrhu je problematika složité konstrukce OP zcela eliminována a konečnému uživateli jsou předány hranice 3D bezpečného prostoru, ve kterém se může pohybovat.

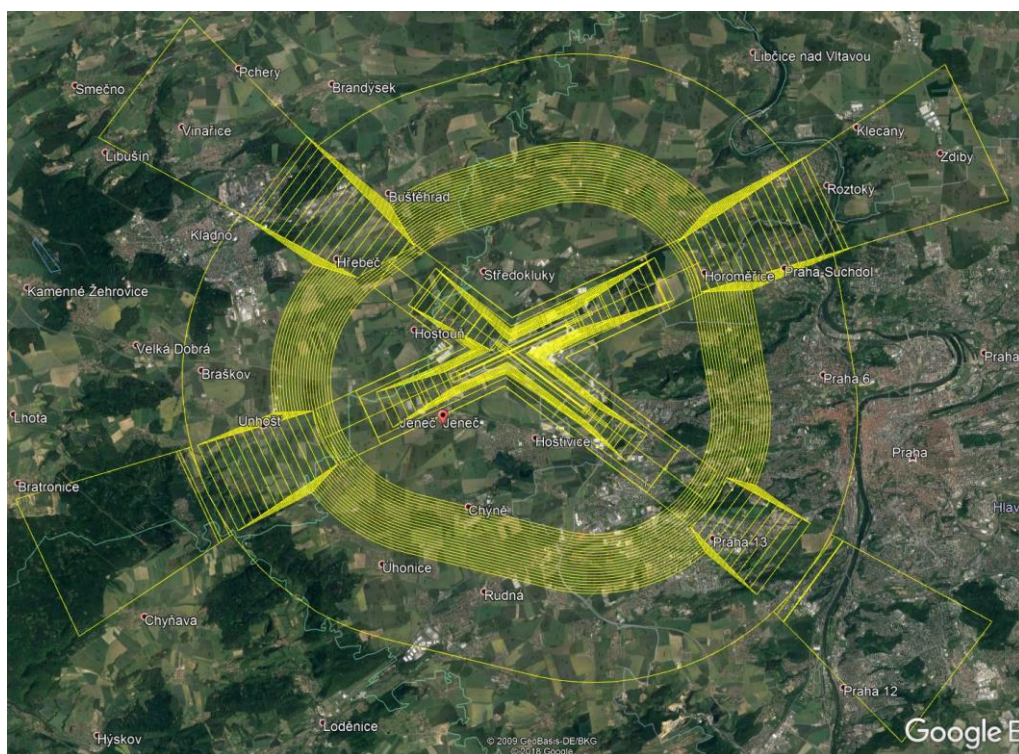
V neposlední řadě bych chtěla uvést, že návrh má potenciál snížit zátěž na stanovišti AMC ČR, kde se soustředí veškeré žádosti o NSF lety v CTR. Jak bylo uvedeno v počátku kapitoly, předpokládá se, že počty takových žádostí budou narůstat.

### 4.3 Postup při vytváření nové vrstvy – No-Fly-zóny pro UAS v CTR Ruzyně

Podklady a nástroje potřebné k vytvoření návrhu:

- Mapové podklady – vzdušné prostory letových provozních služeb,
- Ochranná pásma výškových staveb ve formátu DWG,
- Geografický informační systém QGIS,
- aplikace Google Earth,
- Microsoft Office Excel.

Podklady OP ve formátu \*.dwg (OP) a \*.shp (vzdušné prostory lps) byly překonvertovány v programu QGIS do formátu \*.kml a následně importovány do Google Earth (Obrázek 16 a Obrázek 17).

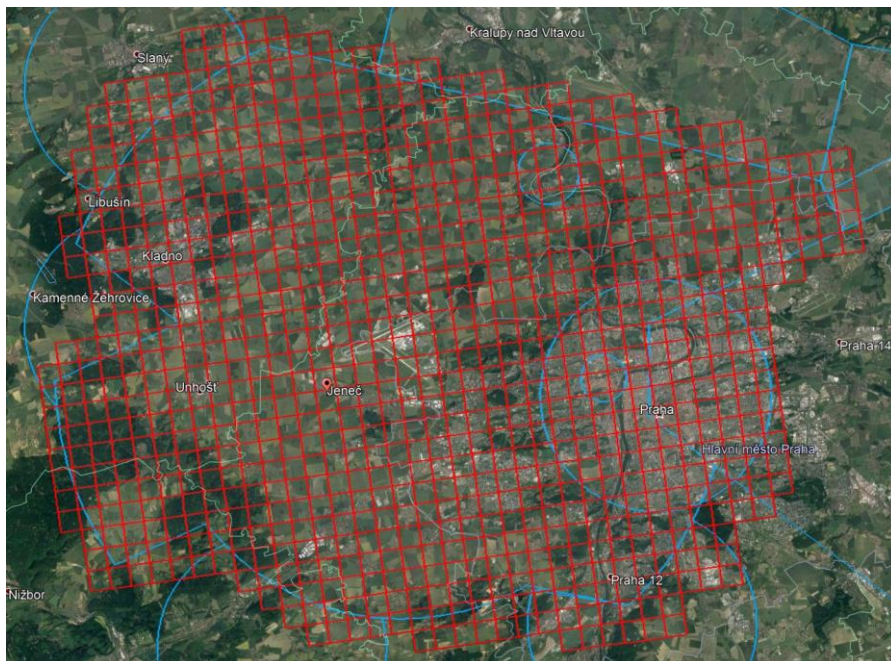


**Obrázek 16:** Ochranná pásma výškových staveb letišť ve formátu kml v Google Earth [vlastní]



**Obrázek 17:** Prostory LPS v okolí LKPR ve formátu kml, vložené do Google Earth [vlastní]

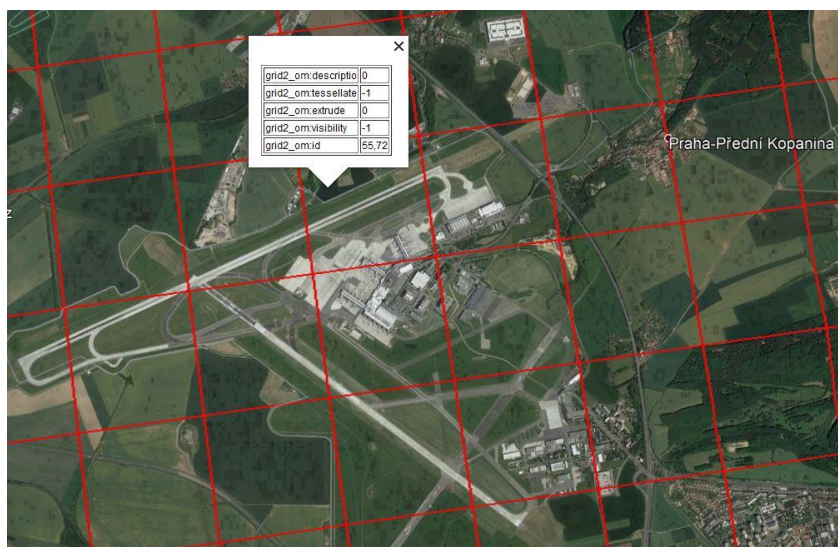
Mřížka, pokrývající řízený okresek letiště, byla nejdříve zkonstruována o hraně čtverce 0,5 km, ale později, vzhledem k pracnosti posuzování jednotlivých čtverců, které probíhalo manuálně, bylo rozhodnuto o zvětšení rozměrů na 1x1 km (Obrázek 18).



**Obrázek 18:** Nově vytvořená vrstva/grid ve formátu kml vložena do Google Earth [vlastní]



Každému čtverci byla přidělena identifikace založená na principu řádek, sloupec. Na obrázku 19 (Obrázek 19) je vidět identifikace čtverce s řádkem 55 a sloupcem 72.



Obrázek 19: Detail identifikátoru konkrétního čtverce mřížky [vlastní]

#### 4.3.1 Stanovení No-Fly-Zóny pomocí výškového omezení

V každém jednotlivém čtverci gridu byla pomocí nástrojů v Google Earth nalezena maximální výška terénu. Na obrázku 20 (Obrázek 20) vidíme postup při hledání maximální výšky terénu ve čtverci 56,70 v místech RWY06 a pojezděcích drah E a F.



Obrázek 20: Způsob hledání maximální výšky terénu v Google Earth [vlastní]

Finální hodnoty uvedené v gridu vznikly na základě posouzení vztahu jednotlivých čtverců k CTR Ruzyně a k ochranným pásmům. Neřeší tedy jiná letová omezení vymezená Doplňkem X předpisu L2 (zákaz létání nad hustě osídlenými oblastmi, shromážděním lidí, liniovými stavbami atd.).

Hodnoty byly průběžně zaznamenávány do sešitu MS Excel, kde byly zároveň každému čtverci přiřazeny další důležité hodnoty o jeho poloze. Zda se nachází uvnitř či vně CTR Ruzyně (LKPR), CTR Kbely (LKKB) nebo CTR Vodochody (LKVO), zda je dotčen ochrannými pásmy či nikoliv. Pokud ano, hodnota OP byla vepsána do příslušného sloupce, pokud daná lokalita nebyla dotčena ochrannými pásmy, byla vepsána hodnota 999. (kompletní Tabulka 4 tvoří **přílohu 3** DP, vzhledem k rozsahu dostupnou pouze elektronicky).

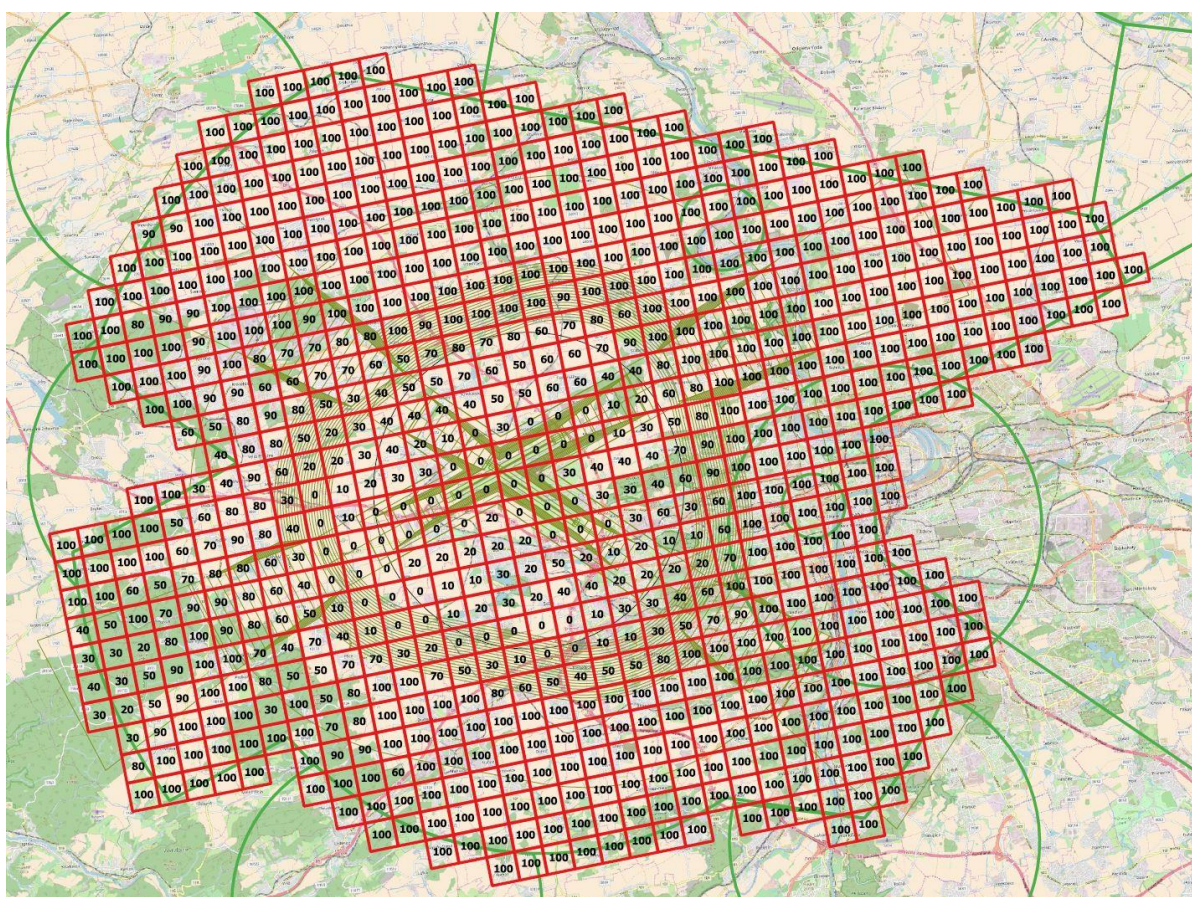
**Tabulka 4:** Ukázka výpočtu výsledného limitu AGL v programu MS Excel [vlastní]

id	řádek	sloupec	max výška terénu	minimální výška OP LKPR	rozdílnost E-D	zaokrouhlení E-L	CTR LKPR a/n	CTR LKVO a/n	CTR LKKB a/n	výsledný limit AGL
55,88	55	88	304	999	695	690	a	n	a	100
55,89	55	89	292	999	707	700	a	n	a	100
55,90	55	90	282	999	717	710	a	n	a	100
55,91	55	91	284	999	715	710	a	n	a	100
56,55	56	55	433	999	566	560	a	n	n	100
56,56	56	56	459	999	540	540	a	n	n	100
56,57	56	57	462	999	537	530	a	n	n	100
56,58	56	58	465	999	534	530	a	n	n	100
56,59	56	59	445	505	60	60	a	n	n	60
56,60	56	60	435	505	70	70	a	n	n	70
56,61	56	61	410	505	95	90	a	n	n	90
56,62	56	62	403	485	82	80	a	n	n	80
56,63	56	63	411	450	39	30	a	n	n	30
56,64	56	64	407	405	-2	-10	a	n	n	0
56,65	56	65	393	405	12	10	a	n	n	10
56,66	56	66	386	395	9	0	a	n	n	0
56,67	56	67	378	380	2	0	a	n	n	0
56,68	56	68	373	360	-13	-20	a	n	n	0
56,69	56	69	370	360	-10	-10	a	n	n	0
56,70	56	70	364	360	-4	-10	a	n	n	0
56,71	56	71	366	360	-6	-10	a	n	n	0
56,72	56	72	366	360	-6	-10	a	n	n	0
56,73	56	73	364	400	36	30	a	n	n	30
56,74	56	74	361	405	44	40	a	n	n	40
56,75	56	75	360	405	45	40	a	n	n	40
56,76	56	76	370	405	35	30	a	n	n	30
56,77	56	77	334	405	71	70	a	n	n	70
56,78	56	78	340	430	90	90	a	n	n	90
56,79	56	79	330	480	150	150	a	n	n	100
56,80	56	80	298	505	207	200	a	n	n	100
56,81	56	81	278	505	227	220	a	n	n	100
56,82	56	82	243	505	262	260	a	n	n	100

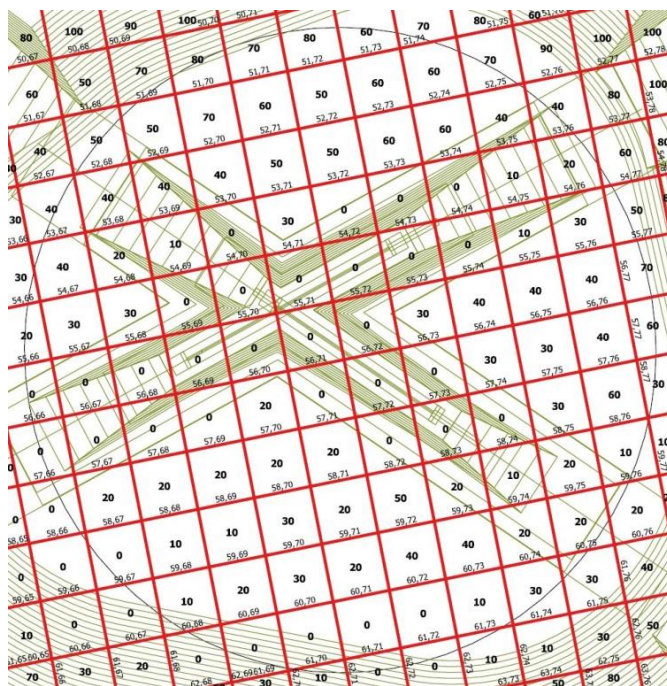
Výpočet v MS Excel byl vytvořen pomocí nastavení vzorců pro výpočet rozdílu mezi maximální výškou terénu a výškou ochranných pásem LKPR. Tato hodnota byla následně zaokrouhlena na celé desítky metrů směrem dolů (tzn. k bezpečnější hodnotě).

### 4.3.2 No-fly-zóna

Obrázek 21 znázorňuje výsledek procesu posuzování – mřížku pokrývající celý prostor CTR Ruzyně. Jednotlivé hodnoty ve čtvercích značí maximální výšky AGL (strop), pod kterými je činnost provozu UAS bezpečná vzhledem k výškám ochranných pásem letiště LKPR. Chtěla bych upozornit na skutečnost, že údaje jsou “natvrdo” vypočítané programem ze získaných hodnot. Při podrobném prozkoumání mřížky je patrné, že u některých čtverců, konkrétně například v těsné blízkosti RWY24/06, bude nutné tyto hodnoty **dále upravit** dle provozních požadavků příslušného stanoviště (Obrázek 22). Naopak například pod ochrannými pásmy konečného přiblížení na RWY06 je zajímavé, že v relativně vzdálené oblasti od letiště LKPR jsou hodnoty stropu překvapivě nízké (Obrázek 21), místy pouhých 20 nebo 30 m. Je to způsobeno vysokou hodnotou maximální výšky terénu v této lokalitě.



Obrázek 21: Definování nové No-Fly-Zóny v prostoru CTR Ruzyně [vlastní]



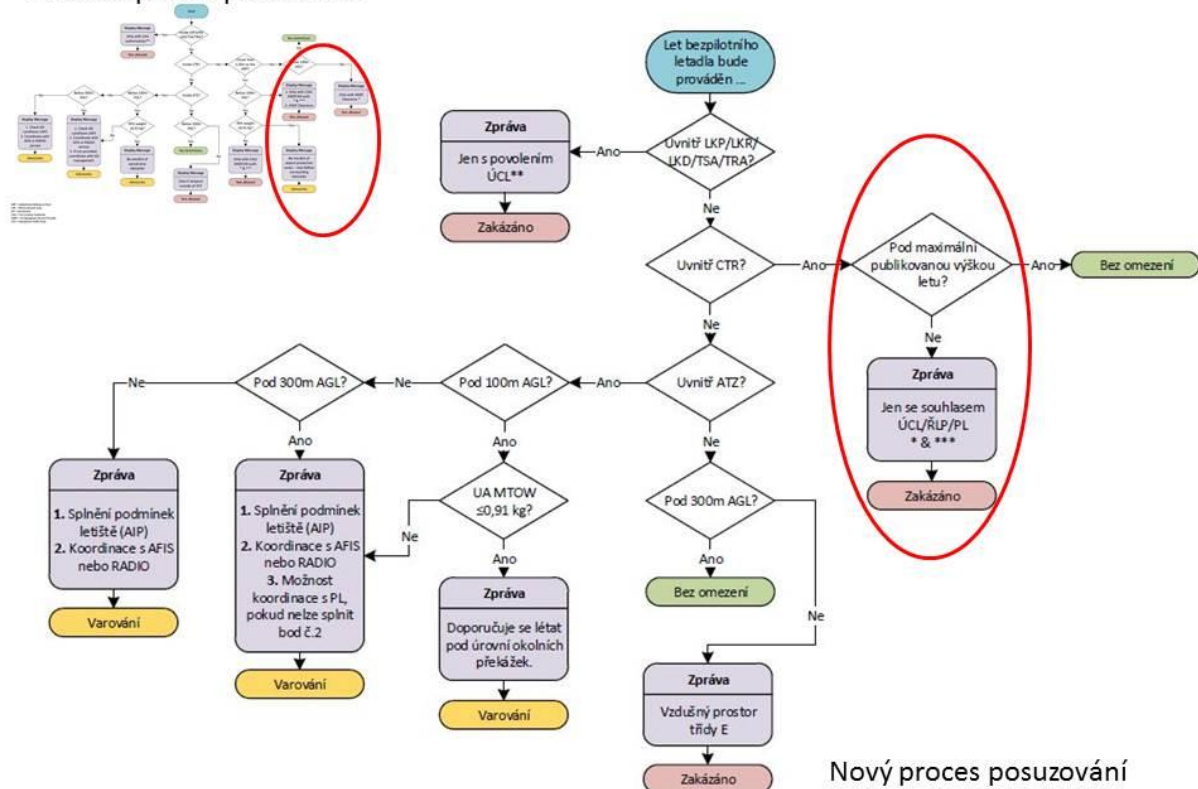
**Obrázek 22:** Detail porovnání kružnice 5,5 km od ARP AD LKPR s nově vytvořenou vrstvou [vlastní]

Dle Doplnku X je nyní povolena výška činnosti v CTR vně kružnice 5,5 km od vztažného bodu letiště stanovena na max. 100 m s respektováním OP. Nové posouzení ukazuje, že na mnoha místech by maximální výška letu vzhledem k OP měla být výrazně nižší než je hodnota 100m. Žadatel o činnost UAS by měl OP zohlednit ve své žádosti. Pokud požádá o vyšší výšku letu, žádost bude předmětem procesu schvalování stanovištěm AMC ČR. Pokud bude výška nižší než uvedená hodnota, žadatele nezprošťuje povinnosti podání žádosti o NSF let, ale bude vědět, že jeho požadavek bude schválen automaticky. Nová vrstva tak usnadní žadatelům stanovení maximální výšky letu UAS pro získání automatického povolení. Stanoviště AMC ČR bude takové žádosti evidovat, ale nebude se muset zabývat jejich posouzením.

#### 4.4 Popis nového procesu povolování NSF letů v CTR

Rozhodovací strom vypracovaný na základě možnosti nového způsobu posuzování žádostí ukazuje v pravé části obrázku 23 (Obrázek 23) zjednodušení celého procesu. V případě, že se požadovaná činnost nachází pod maximální publikovanou výškou, let je automaticky schválen bez omezení.

### Původní proces posuzování



Obrázek 23: Zjednodušení procesu schvalování žádostí [vlastní]

Obrázky 15, 21 a 23 jsou pro lepší čitelnost uvedeny v příloze 4 ve vyšším rozlišení.

### 4.5 Doporučení pro další kroky v této oblasti

V případě, že bude návrh akceptovaný a pozitivně přijatý stanovištěm řízení letového provozu, bude předložen Úřadu pro civilní letectví k posouzení.

Předpokládá se publikování nové vrstvy (No-Fly-Zóny) na veřejně dostupném místě (AIP ČR). Později se nabízí integrace No-Fly-Zóny do budoucího UTM systému. V případě, že by se postup posuzování žádostí o UAS činnost v CTR Ruzyně osvědčil, bylo by možné jej aplikovat na všechna CTR/MCTR v České republice.

V první fázi by bylo vhodné vymezit nová pravidla pro schvalování činnosti UAS v CTR Ruzyně pouze na provozovatele UAS, kteří vlastní oprávnění k leteckým pracím prováděným bezpilotním letadlem a předpokládá se u nich vyšší stupeň osvěty a zodpovědnosti při provozování letů UAS.

## 5 Rozbor rizik a nebezpečí spojených s UAS provozem v blízkosti řízených letišť

### 5.1 Hodnocení bezpečnosti v letectví

Při hodnocení bezpečnosti leteckého provozu na letištích se obecně vychází zejména z rozvržení letiště, konfigurace dráhového systému, pojezděcích drah, odbavovacích ploch, délky VPD, typu provozu, hustoty provozu, kvality poskytovaných pozemních služeb a v neposlední řadě z provozních postupů.

Potenciálními cíli jsou z pohledu ochrany letiště prostory terminálů, kde se zdržuje nejvíce osob, dále oblasti tankování, stojánky nebo například pojezdějící letadla na vzlet s plnými nádržemi leteckého benzínu. Z pohledu řízení letového provozu je velmi důležitá ochrana letadel na konečném přiblížení a po vzletu.

### 5.2 Rizika a nebezpečí identifikovaná v souvislosti s UAS provozem

Nejprve je nutné si uvědomit rozdíl mezi pojmy riziko a nebezpečí. **Riziko** je kombinací pravděpodobnosti výskytu konkrétních následků události a její závažnosti. **Nebezpečím** rozumíme stav, podmínku nebo okolnost, které potenciálně mohou vést k nehodě. Správné pochopení nebezpečí a jeho důsledná identifikace umožňují správné zhodnocení možných dopadů.

V procesu posuzování rizik si pokládáme **čtyři základní otázky**:

- Co se může pokazit?
- Jaké mohou být důsledky takového stavu/situace?
- Jak často se může takový stav/situace vyskytovat?
- Co mohu udělat, aby identifikované riziko bylo eliminováno?

Rozeznáváme pět stupňů pravděpodobnosti výskytu událostí a pět stupňů závažnosti. Minima bezpečnosti se obvykle uvádí v matici rizik. (Obrázek 24)[42]

		Pravděpodobnost				
		5	4	3	2	1
		Četná	Pravděpodobná	Příležitostná	Zřídka	Nepravděp.
Závažnost	A Katastrofická	5A	4A	3A	2A	1A
	B Nebezpečná	5B	4B	3B	2B	1B
	C Závažná	5C	4C	3C	2C	1C
	D Nízká	5D	4D	3D	2D	1D
	E Zanedbatelná	5E	4E	3E	2E	1E

	Neakceptovatelné riziko
	Akceptovatelné riziko, vyžadující manažerské rozhodnutí (oblast ALARP)
	Plně akceptovatelné riziko

Obrázek 24: Maticе rizik podle DOC 9859 ICAO Safety Management Manual (vlastní podle [42])

Nebezpečí a jejich možné následky v pilotovaném letectví již známe z historie. Jsou založeny na faktech, mají již přiřazeny jednotlivé identifikátory a dají se z nich vytvářet celé knihovny bezpečnosti. U provozu bezpilotních systémů neexistuje funkční a vymahatelný systém povinného hlášení incidentů a nehod a proto nejsou k dispozici ucelená historická data, pouze některé mediálně více pokryté nehody. Musíme tedy k hodnocení rizik využívat prediktivní techniky, jako jsou například Analýza stromu poruchových stavů (FTA) nebo Analýza stromu událostí (ETA).[42]

EASA ve svém návrhu NPA 2017-05 doporučuje při vyhodnocování rizik využívat metodologii popsanou v dokumentu JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (dále jen JARUS SORA). Tento dokument má dvě přílohy, odkazy na ně jsou uvedeny v přehledu dokumentů v kapitole 3.5.3.

Z přílohy A dokumentu JARUS SORA bych uvedla tři základní kategorie škod/újm, které mohou být provozem UAS způsobeny:

- **Nebezpečí způsobené na zemi:**
  - zranění třetích osob na zemi,
  - zranění pilota UA na zemi,
  - hmotné škody při poškození UAS.
- **Nebezpečí způsobené ve vzduchu:**
  - sblížení s jiným uživatelem vzdušného prostoru,
  - kolize s jiným uživatelem vzdušného prostoru,
    - kolize s pilotovaným letounem,
    - kolize s bezpilotním letounem.
- **Škoda způsobená na kritické infrastruktuře[29]**

Dle dokumentu JARUS SORA je jediným identifikovaným nebezpečím provozu UAS, který by mohl vést k fatálním situacím, „**Ztráta kontroly řízení UAS**“, která je definována jako provoz mimo schválenou činnost.[29]

**Ztráta kontroly řízení** je stav, kdy UA přestane reagovat na pokyny dálkově řídicího pilota. Pro tento případ bývají některé UAS vybaveny contingency systémem „fail-safe“, který vyhodnotí poruchu a zajistí ukončení letu. Pokud dron takovým systémem nedisponuje, hrozí zřícení v dopadové zóně, která závisí na aktuální výšce letu a také meteorologických podmínkách (silný vítr). V některých případech, zvláště u levnějších spotřebních dronů, však není jisté, co dron v případě módu „fail-safe“ udělá. Někteří piloti UAS s humorem tomuto módu říkají „Fly back to China“.

Při létání **VLOS** hrozí **ztráta vizuálního kontaktu s UA**. Za ztrátu vizuálního kontaktu je považována i taková situace, která nemusí být nutně způsobena technickou závadou, ale je v konečném důsledku opět klasifikována jako ztráta kontroly řízení UAS.

Při létání **BLOS** je situační povědomí o poloze UA striktně závislé na konfiguraci a kvalitě vybavení UAS.

#### **Příklady příčin vedoucích ke ztrátě kontroly řízení UA:**

- Špatně zadané Waypointy do GPS při autonomním módu.
- Nesprávná nebo chybějící GPS data.
- Přerušovaný signál z řídicí stanice.
- Počasí, např. poryvy větru při vzletu a přistání.
- Nedostatečná zkušenost pilota.

#### **Příklady identifikovaného nebezpečí:**

- UA se odkloní od zamýšlené trati letu.

#### **Příklady důsledků ztráty kontroly řízení:**

- Neoprávněné narušení omezeného prostoru (vědomé/záměrné).
- Neoprávněné narušení stanovených výškových omezení (vědomé/záměrné).
- Kolize s jiným objektem/osobou.

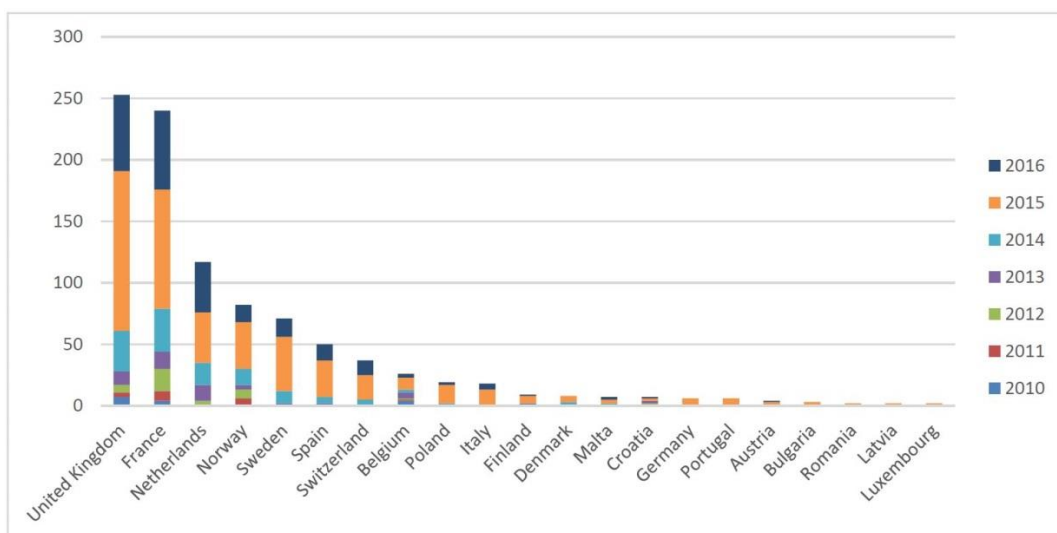
#### **Příklady zmírnění rizik:**

- Monitorování trati letu.
- Provedení předletové prohlídky funkčnosti.
- Definování limitů síly větru, minimální vzdálenosti od jiných objektů/osob.
- Příkladný výcvik pilota.
- Pravidelná údržba celého systému.[42]

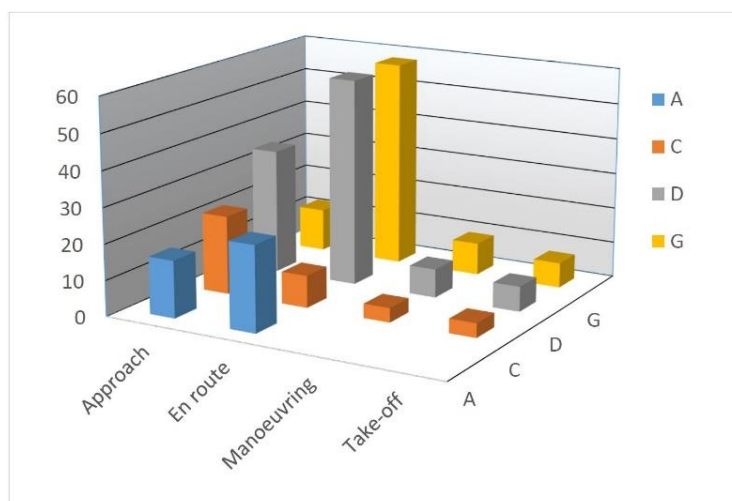
### **5.2.1 Sblížení s jiným uživatelem vzdušného prostoru (Airborne conflict)**

Jedním z nejčastějších důsledků neoprávněného narušení omezeného prostoru v blízkosti letiště je možnost sblížení UAS s jiným bezpilotním, či pilotovaným letounem. Nejvíce hlášení o vizuálním kontaktu, definovaném jako potenciální kolize či sblížení (z anglického Airprox, Air Proximity) je dle statistik agentury EASA, která tato hlášení má pro Evropu v evidenci od roku 2015, evidováno ve Velké Británii, Francii a Nizozemí (Graf 3). Určité procento hlášení je nakonec vyhodnoceno jako vizuální kontakt s jiným objektem než UAS.





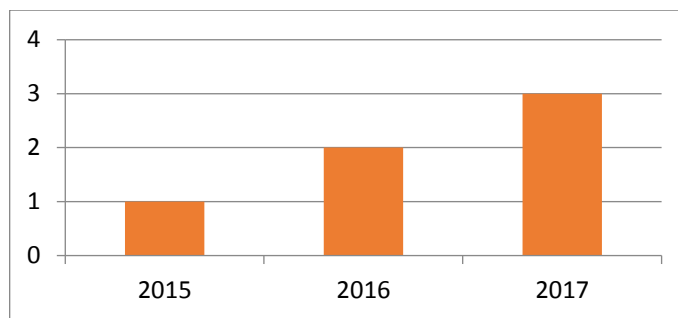
**Graf 3:** Počty hlášení vizuálního kontaktu s bezpilotním letadlem v Evropě [43]



**Graf 4:** Analýza výskytu vizuálního kontaktu s UAS, Evropa [43]

Z grafu EASA MS (Graf 4) je patrné, že nejčastěji pocházejí hlášení o vizuálním kontaktu s UAS ve třídě vzdušného prostoru G (do 300m AGL), během letu po trati a na trati konečného přiblížení.[43]

Od roku 2015, bylo na letišti Ruzyně evidováno šest hlášení v leteckém provozu (Graf 5), které měly souvislost s provozem bezpilotních systémů. Ohlášeny byly na základě vizuálního kontaktu posádkou přistávajících letadel, v jednom případě pracovníkem bezpečnostního oddělení Letiště Praha, který UAS spatřil v okolí perimetru letiště. V souvislosti s rozvojem a oblibou využívání UAS technologií se předpokládá, že počty neoprávněných narušení bezletových zón budou nadále přibývat.



**Graf 5:** Počty hlášení vizuálního kontaktu s UAS v CTR Ruzyně<sup>6</sup> [vlastní]

K neoprávněnému narušení může dojít **z nevědomosti**, ale i **záměrně**. Velmi často se na řízených letištích setkáváme s náruživými letištními pozorovateli (spottery), kteří jsou pro dobrý fotografický záběr ochotni riskovat a neuvědomují si závažnost svého počínání ani jeho možné následky. Někteří leckdy ani netuší, že svojí činností porušují pravidla létání.

V dalším rozboru se nebudu zabývat variantou **úmyslného navedení UA** do míst kritické infrastruktury či přímo do prostoru vzletu nebo konečného přiblížení, ale je namístě zmínit i takovou variantu trestného činu hraničícího **s terorismem**.

### 5.2.2 Sblížení s jiným objektem/osobou na zemi (Ground conflict)

Dokument JARUS SORA rozeznává 11 tříd pro vyhodnocení nebezpečí srážky osoby na zemi s UAS<sup>7</sup>. Hodnoty závisí na předpokládané kinetické energii získané při pádu dronu z výšky. Jako největší problém se stejně jako u kolizí ve vzduchu jeví těžké a tvrdé komponenty dronu, např. baterie a motory.

## 5.3 Studie a testy nárazu

Konflikty, kdy došlo ke srážce UAS s pilotovaným letounem s katastrofálními následky, nejsou naštěstí zatím známé. Pro určení možných následků srážky UAS s pilotovaným letounem byly provedeny různé fyzické i počítačové testy. Většina studií vznikla ve spolupráci s technickými univerzitami v rámci programů „R&D“.

### 5.3.1 Mid-Air Collision Study, publikovaná společností BALPA, DfT a MAA

Studie „Small Remotely Piloted Aircraft Systems (drones) Mid-Air Collision Study, publikovaná společností BALPA, DfT a MAA“ potvrdila, že se na incidenty způsobené bezpilotními letadly nemůžeme dívat stejně jako na incidenty způsobené srážkou s ptactvem, i když hmotnostní objemy jsou podobné. Jednotlivé komponenty bezpilotních systémů, zejména části jako jsou **motor**, **baterie**, a ostatní velmi tvrdé části systému mohou způsobit fatální poškození. Na rozsah poškození letounu má vliv i konfigurace dronu, úhel při nárazu

<sup>6</sup> Oddělení auditu ŘLP ČR, s.p.

<sup>7</sup> tzv. Ground Risk Classes - GRC

nebo přítomnost plastového krytu motoru. Video z provedených testování ukázalo, že pokud do čelního skla kokpitu (Obrázek 25) narazí nejdříve plastový obal motoru dronu, vykazuje sklo větší integritu a dojde k menšímu poškození, než pokud plastová ochrana chybí. K testům byly použity komponenty z hmotnostní kategorie 4 kg, některé drony měly zabudovanou kameru v horním, jiné na spodním závěsu. Menší škody byly způsobené při umístění kamery na spodní straně, kdy právě kamera byla prvním elementem, který do čelního skla narazil.[24]



**Obrázek 25:** Kokpit pro testování poškození při simulovaném nárazu, vpravo počítačový model [24]

Závěry studie potvrdily, že UA o MTOM < 1,2 kg ve většině případů ani při nejvyšší rychlosti nezpůsobují kritická poškození. Kritická poškození mohou způsobit komponenty UA kategorie MTOM > 4 kg. V okamžiku nárazu je velmi důležité, která část konstrukce dronu do letounu narazí jako první. Srážka letounu s dronem způsobí výrazně vyšší poškození než je tomu při srážce živého organismu (ptactva) stejné váhové kategorie.[24]

### 5.3.2 ASSURE UAS Airborne Collision Severity Evaluation Final Report

Rozsáhlé testy byly prováděny ve spolupráci FAA s několika technických univerzitami v USA (University of Alabama in Huntsville, University of Kansas, Mississippi State University, Embry-Riddle Aeronautical University). Při simulovaných nárazech se zkoumaly dopady srážky, jako například tupý náraz, vniknutí do konstrukce nebo tržná zranění třetích osob či osob, účastnících se UAS provozu.[44]

K testování byly použity následující typy letadel: kvadrokoptéra DJI Phantom 3, UA s pevným křídlem Precision Hawk a model běžného dopravního letadla (Obrázek 26).[44]



**Obrázek 26:** Testovací stroje [44]

### 5.3.3 Drone Aircraft Collision Tests (Čína)

Národní letecký úřad v Číně (CAAC) ve spolupráci s čínskými technickými univerzitami, provedl v listopadu 2017 testy nárazu bezpilotního letadla do civilního dopravního letounu. Účelem této studie bylo vyhodnocení potenciálního nebezpečí, které taková srážka může způsobit. Výsledky testů mají sloužit k vypracování doporučujících materiálů pro tvorbu legislativy, vytváření postupů pro lety UAS i výrobcům dronů.

K testům byla použita speciálně zhotovená přední část letounu a dvě kvadrokoptéry výrobce DJI.[45]

Srážka prvního dronu byla situovaná na roh čelního skla kokpitu (Obrázek 27), druhá do středu předního skla (Obrázek 28). Rychlost nárazu byla stanovena jako „standardní“. V obou případech došlo k prasknutí čelního skla. Simulace srážky prokázaly, že kvalita materiálu použitého při výrobě, průběh letu a jeho provedení, rychlost, hmotnost UAS, ale také hlavně místo nárazu do cizího objektu (letounu), mají odlišný vliv na míru poškození.[45]



**Obrázek 27:** Fotografie z testu nárazu kvadrokoptéry do středu čelního skla kokpitu [45]

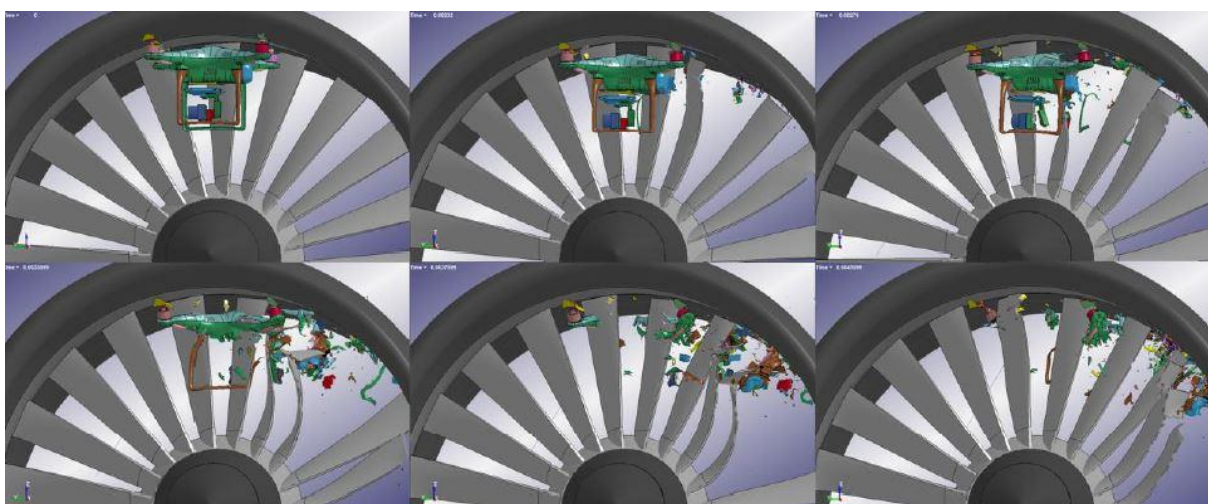


**Obrázek 28:** Fotografie z testu nárazu kvadrokoptéry do rohu čelního skla kokpitu [45]

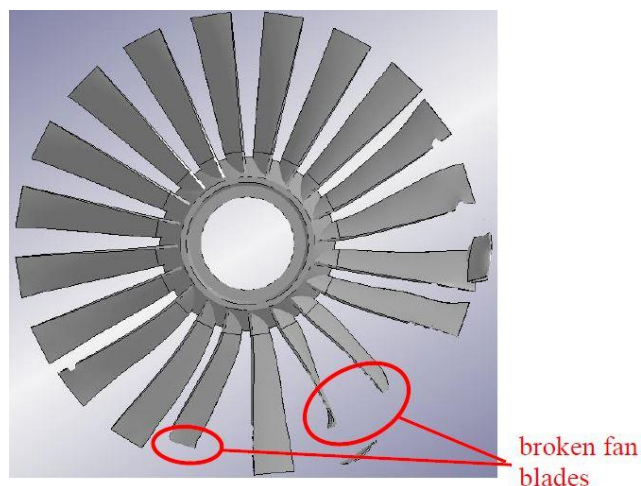
### 5.3.4 Závěry z jednotlivých studií

- Parametr hustoty energie (energy density parameter) je rozhodujícím měřítkem možnosti průniku/vniknutí, způsobené ostrými hranami nebo drobnými úlomky. Velmi záleží i na lokalitě.
- Průměr rotoru je rozhodující při určení závažnosti poškození, způsobených rotorem či vrtulemi. Je doporučeno používat ochranné prvky na tyto části UAS, aby se předešlo tržným zraněním. Tržná zranění jsou nejčastějším typem zranění.
- Vrtule helikoptér s jedním rotorem jsou potenciálně smrtícím nebezpečím, zvláště při nárazu v oblasti hlavy.
- Bylo prokázáno, že multikoptéry při pádu dosahují nižších rychlostí díky aerodynamickému odporu.
- UAS jsou při nárazu flexibilní a neztrácejí při něm svoji energii.
- Dřevěné a kovové části se nedeformují a většinu své energie přenášejí do nárazu.
- Klíčovými komponenty potenciálně nebezpečnými pro velká dopravní letadla jsou baterie a motory.[44]

Pro zajímavost jsou níže uvedeny ze studie obrázky ze simulací nasátí UA do motoru při fázi vzletu letounu (Obrázek 29 a Obrázek 30) Fáze vzletu se jeví jako nejzranitelnější. Studie uvádí také výsledky testů nasátí UA při letu na finále či v rovnoměrném ustáleném letu ve výšce 10 000 ft a simulace poškození jednotlivými komponenty (baterie, kamera, motory) v různých fázích letu. Veškeré testy byly provedeny pro oba typy UA – kvadrokoptéru DJI a Precision Hawk.



**Obrázek 29:** Kinematika průběhu nasátí kvadrokoptéru motorem během fáze vzletu [44]



Obrázek 30: Poškození lopatek motoru kvadrokoptérou během fáze vzletu [44]

## 6 Současný stav řešení (technologie) detekce a možné eliminace nebezpečných dronů

### 6.1 Definice kooperujících cílů

Detekovat cíl ve vzduchu, který stojí o to být viděn a zapojen do ATM (UTM) systému řízení, je v dnešní době možné. I přes velmi malou radarovou odraznou plochu (RCS) plynoucí z všeobecně malých rozměrů bezpilotního letadla (UA), existují systémy a zařízení, které jejich detekci umožňují.

#### 6.1.1 Odpovídače SSR

Klasické odpovídače sekundárního radaru (Mode „S“) jsou vzhledem ke své váze a rozměrům vhodné v bezpilotním prostředí převážně pro letouny s pevnými křídly nebo bezpilotní vrtulníky větších rozměrů a nosnosti. Tradičně se používají ve vojenském letectví. V případě požadavku odpovídače umístěném na běžných vrtulníkových systémech je nutné použít odpovídač subtilnější.

#### 6.1.2 Automatické závislé systémy (ADS)

ADS systémy jsou založené na příjmu zpráv, které obsahují polohovou informaci vypočtenou navigačním systémem v letadle. Vysílání ADS zpráv z letadla může být realizováno dvěma způsoby. Prvním způsobem je vysílání zpráv v pravidelných intervalech (ADS-B – Automatic Dependent Surveillance-Broadcast). Druhým způsobem je jednorázové vysílání zpráv na požadavek (ADS-C – Automatic Dependent Surveillance - Contract). Požadavek k vysílání zpráv vždy specifikuje, za jakých okolností mají být zprávy vysílány (například při změně letové hladiny, po dosažení určitého hlásného bodu, v časovém intervalu a podobně). Pro potřeby bezpilotních systémů budeme uvažovat zprávy ADS-B. Pro přenos

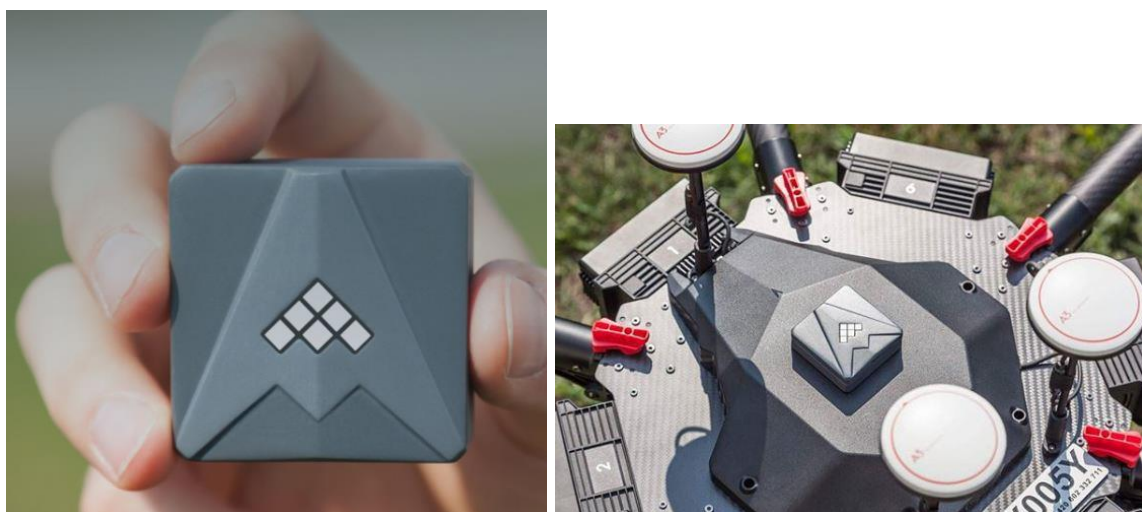
zpráv ADS-B jsou připravené tři komunikační způsoby. Nejrozšířenější je „Mode S extended squitter“. Jedná se o zprávu definovanou pro mód S, vysílanou na kmitočtu 1090 MHz obsahující mimo unikátní ICAO adresu letadla i polohu vypočtenou na palubě. Squitter je vysílán samovolně, aniž by muselo dojít k iniciování ze strany jakéhokoliv pozemního přehledového zařízení. S rozvojem bezpilotních prostředků byly vyvinuty subtilní ADS-B transpondéry, které lze snadno integrovat do ovládací platformy dronu. Obrázek 31, zobrazuje Mode S ADS-B odpovídač „Ping 20S“, který váží pouhých 15 g.[46]



Obrázek 31: Mode S ADS-B odpovídač "Ping 20S" [46]

### 6.1.3 GPS tracker pro drony

GPS tracker je vhodnou pomůckou pro každého pilota dronu. Tracker je schopný uchovávat údaje o letu, vysílat telemetrické údaje o letu prostřednictvím mobilní GSM sítě po dobu až tří hodin. Zároveň má zabudovaný teploměr, barometrický výškoměr, 3D akcelometr a gyroskop. Jako ukázkou uvádím produkt české společnosti UpVision (Obrázek 32), vážící 48 g s rozměry 48x48x19 mm, s baterií 700 mAh.[47]



Obrázek 32: GSM Maia Tracker pro drony [47]



#### 6.1.4 Zobrazení kooperujících cílů

Jednou z možností, jak zobrazit bezpilotní letadla vybavená některým z výše popsanych způsobů, je integrace získaného výnosu do stávajících systémů řízení letového provozu.

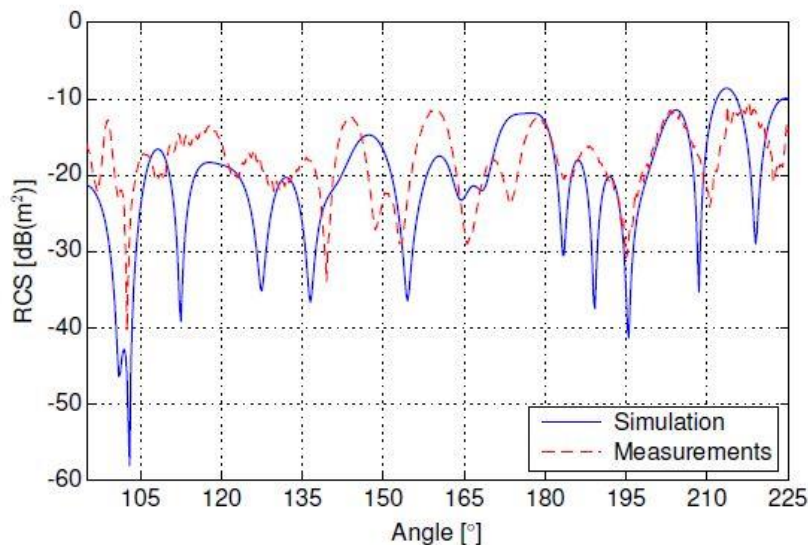
Přehledové informace, které kooperující UAS poskytnou prostřednictvím UTM platformy složkám řízení letového provozu, pomohou získávat informace o pohybech UAS a mohou přispět k vyhodnocení potenciálních konfliktů s dalším provozem.

#### 6.2 Definice nekooperujících cílů

V souvislosti s množícími se incidenty, kdy bezpilotní letadla neoprávněně narušila bezletové zóny v okolí řízeného letiště a ohrozila tak bezpečnost provozu, stoupá i poptávka po kvalitní detekční technologii. Bepilotní letadla, která z jakéhokoliv důvodu tento prostor naruší, budeme označovat jako **nekooperující cíle**. Jsou to UA, o jejichž úmyslech nemají složky řízení letového provozu či provozovatel letiště žádné informace. Takové cíle jsou pro letecký provoz potenciálně nebezpečné. V současné době není na žádném řízeném letišti v České republice instalovaná detekční technologie, která by byla schopna takový nekooperující cíl detekovat.

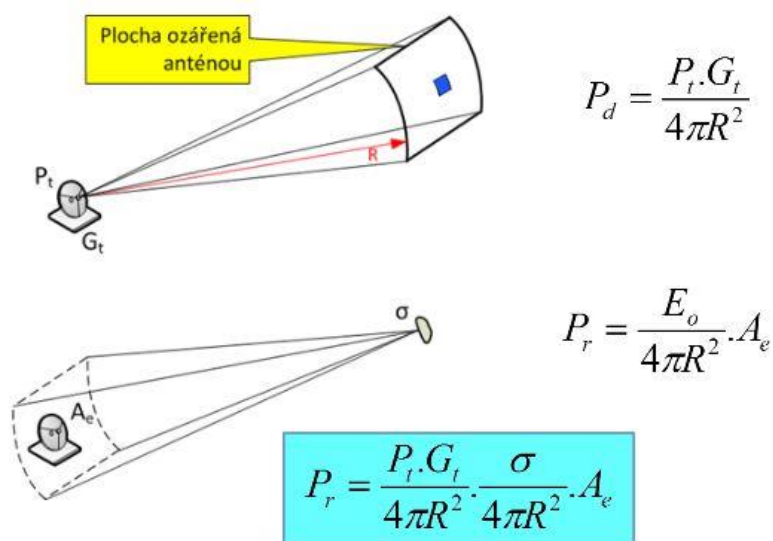
#### 6.3 Technologie detekce nekooperujících UAS

Pro detekci bezpilotních systémů je možné použít velmi širokou škálu prostředků a senzorů. Žádná z technologií neposkytuje dostatečně robustní řešení tak, aby bylo možné využití pouze jedné prověřené technologie a zajistit tak spolehlivou detekci bezpilotních letadel s pravděpodobností větší než 95 %. Toho je možné dosáhnout s použitím primárních radarů na detekci konvenčních nekooperujících pilotovaných letů s RCS > 1 m<sup>2</sup>. **Radarová efektivní odrazná plocha** bezpilotních letadel je až o dva řády nižší (0,01 m<sup>2</sup>) a s pokračujícím trendem miniaturizace nových modelů bezpilotních letadel a s využitím zejména kompozitních materiálů je možnost primární detekce malých UA extrémně složitá. (Obrázek 33)



**Obrázek 33:** Měření radarové odrazné plochy kvadrokoptéry [56]

**Vliv efektivní odrazné plochy** - pro činnost radaru je využíváno odrazů elektromagnetických vln od určitých objektů. Elektromagnetické vlny se odrážejí od objektů srovnatelně velkých s vlnovou délkou nebo větších. Objekty malých rozměrů odráží jen malou část energie. (Obrázek 34). [48]



**Obrázek 34:** Energie v místě cíle a přijímače [54]

Nachází-li se dva cíle blízko sebe, nelze jednoznačně rozpoznat, zda se jedná o jeden objekt. Schopnost rozpoznat cíle od sebe je dána **frekvencí** a **charakterem vyzařovacího diagramu antény** (šířkou svazku). Dále také platí, že čím kratší je vyslaný puls, tím blíže k sobě mohou cíle být, aby byly rozlišeny správně jako dva cíle a ne jako cíl jeden.

Teoretická hodnota prostorového rozlišení je dána vztahem:

$$\Delta R = \frac{c \cdot \tau}{2} \text{ [m]},$$

kde je  $\Delta R$  vzdálenost mezi dvěma cíli  
 $c$  rychlost šíření elektromagnetické vlny  
 $\tau$  šířka vyslaného pulsu

Zkracování vyslaného impulsu s sebou přináší problémy spojené s energií přijatého signálu, který pak lze obtížněji rozeznat v šumu. Použitím vhodné modulace vysílaného pulsu je možné zlepšit rozlišovací schopnosti a současně příjmu signálu s dostatečnou energií.[48]

Současné technologie lze rozdělit do dvou základních (**detekce pomocí pulsního radaru** a **monitorování spektra**). Vzhledem k relativně malým výškám a složitým urbanistickým podmínkám, ve kterých se drony pohybují, je spolehlivá detekce komplikovaná. Pro spolehlivou detekci cíle je často nutné kombinovat detekci pomocí radaru s dalšími doplňkovými systémy, například akustickým, kamerovým nebo infračerveným senzorem.

### 6.3.1 Detekce pomocí pulsního radaru

Pulsní radary nevysílají a nepřijímají signál soustavně, ale vysílají velmi krátký elektromagnetický puls o relativně velkém výkonu. Radiolokační cíle se definují pomocí odrazových vlastností cílů.

- Vyhodnocují se základní cíle:
  - doba příchodu odražené vlny (závisí na vzdálenosti objektu),
  - střední hodnota výkonu odraženého signálu (závisí na odrazových vlastnostech cíle),
- Tvar spektrálních funkcí amplitudy a fáze (závisí na parametrech pohybu cíle v prostoru),
- Dopplerův posuv kmitočtu (závisí na relativní rychlosti cíle vzhledem k radaru, vyhodnocuje se celé dopplerovské spektrum). [54]

Výhody detekce pomocí radarového senzoru:

- dosah,
- rozlišení,
- přesnost,
- možnost jeho nepřetržitého provozu v téměř jakýchkoliv klimatických podmínkách.

Nevýhody detekce pomocí radarového senzoru:

- vysoká pořizovací cena,
- vliv efektivní odrazné plochy na pravděpodobnost detekce,
- četnost falešných alarmů.[54]

Nevýhody detekce pomocí radarového senzoru lze eliminovat například použitím kamerového senzoru, spojením více radarů nebo využitím různých radarových technologií (FMCW radar nebo radar pulsně dopplerovský).

Podle podoby signálu, se kterými radary pracují, rozlišujeme radary se stálou vlnou a pulsní. Radary se stálou vlnou se dále dělí na radary dopplerovské a radary s modulovaným signálem.[48]

### 6.3.2 Dopplerovský CW radar

Radary se stálou vlnou jsou označovány zkratkou CW (Continuous-wave). Vysílač dopplerovského radaru vysílá souvislý harmonický signál s konstantním kmitočtem. Tento signál se odráží od okolních objektů a následně je zachycen přijímačem. Pokud se však některý z objektů způsobujících odraz signálu pohybuje určitou nenulovou rychlostí vzhledem k radaru, dochází k dopplerovu posunu přijatého signálu. U přijatého signálu, je zjišťována velikost tohoto posunu a z ní následně stanovena rychlost daného objektu. Z principu činnosti dopplerovského radaru je zřejmé, že tato technologie umožňuje zjištění pouze pohybujících se cílů. U detekovaných objektů však není možné stanovit jejich vzdálenost. Důvodem této skutečnosti je to, že nelze změřit čas mezi vysláním signálu a následným příjmem echa. Za účelem stanovení vzdálenosti zjištěného objektu jsou kontinuální radary doplňovány frekvenční nebo fázovou modulací.[48]

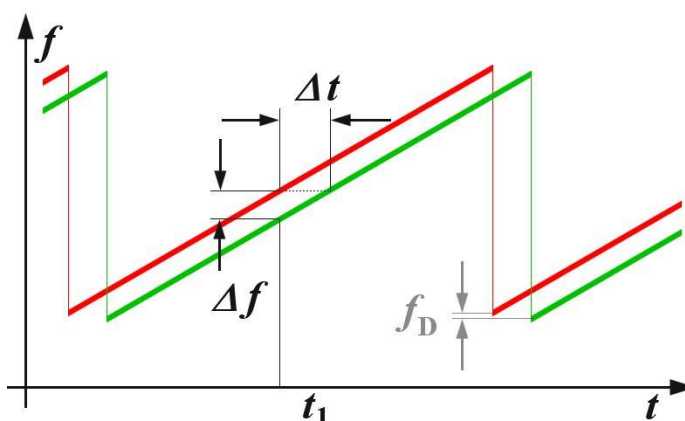
Z dostupných výrobců produktů detekčních technologií na trhu, kteří zvolili pro detekci kombinaci pulsního a dopplerovského radaru, uvádím v tabulce 5 (Tabulka 5) například:

**Tabulka 5:** Detekční technologie využívající kombinaci pulsního a dopplerovského radaru [vlastní]

Parametr	IAI ELTA ELM-2026B	DeTect Int. DSR-200d	Kelvin Hughes Sharpeye SXV
Frekvence [GHz]	8 -12	8 -12	9,2- 9,5
Max. vzdálenost UA [m]	4500	4800	4000
Rozlišovací schopnost v dálce [m]	60		45
Přesnost v dálce [m]	30		5
Vizuální potvrzení cíle	ne	ne	ano
Pokrytí [°]	360	360	360
Rychlost obnovy [s]	2	1,25	

### 6.3.3 Frekvenčně modulovaný CW radar

Frekvenčně modulovaný radar se stálou vlnou je označován jako FMCW (Frequency Modulated Continuous-wave) radar. Vysílaný signál je zpravidla modulován pilovým průběhem (Obrázek 35), který umožňuje stanovení zjišťovaného zpoždění. Pro získání informace o vzdálenosti sledovaného objektu je zapotřebí upravit průběh vysílaného signálu tak, aby bylo možné určit zpoždění mezi vysláním signálu a následným zachycením echa. Jednou z možností úpravy vysílaného signálu je frekvenční modulace. FMCW radary se používají také k měření statických cílů, například v meteorologii (měření mraků a výškového profilu větru).[48]



Obrázek 35: Lineární frekvenční modulace pilovitým signálem [48]

Z dostupných výrobců produktů detekčních technologií na trhu, kteří zvolili pro detekci FMCW radar, uvádím v tabulce 6 (Tabulka 6) například:

Tabulka 6: Detekční technologie využívající FMCW radar [vlastní]

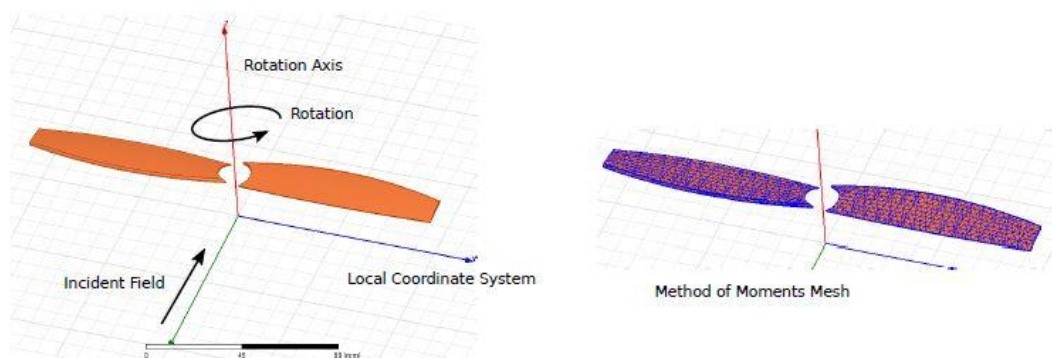
Parametr	Thales Squire	Robin Radar Elvira	Hensoldt Spexer 500/1000	Blighter A400
Frekvence [GHz]	8-20	9,65	8-12	15,7-17,2
Max. vzdálenost UA [m]	4000	3000	2500/4000	6000
Rozlišovací schopnost v dálce [m]	5	3,2		30
Přesnost v dálce [m]	5			1
Vizuální potvrzení cíle	Ano	Ano	Ano	Ano (v AUDES)
Pokrytí [°]	360	360	120	90/180/360
Rychlost obnovy [s]		1	1,5	1/0,25

### 6.3.4 Micro-Doppler metoda klasifikace malých UA

Rotující vrtule a vibrující komponenty UA kromě svého konvenčního dopplerovského spektra vykazují také specifické znaky, které se nazývají termínem „micro-Doppler“. Tyto dopplerovské charakteristiky nabízejí cenné informace o objektu a mohou být využity pro sledování a klasifikaci cílů.[55]

UA mají podobné RCS a pohybují se podobnými rychlostmi jako zástupci většího ptactva. Bylo však dokázáno, že dopplerovské charakteristiky dronů a ptactva se výrazně liší a umožňují tak jejich spolehlivé rozlišení. Vzhledem k rychlosti otáčení je možné tento problém simulovat jako sekvenci jednotlivých statických výpočtů. Na základě tohoto konceptu lze popsat rotaci objektu jistým počtem orientací/pozic v určitém čase. Pro každou orientaci/pozici a danou vlnovou délku lze pomocí numerického řešení vyhodnotit monostatický vyzařovací diagram. V závěrečném kroku jsou dopplerovské charakteristiky vypočteny s použitím rychlé Fourierovy transformace (FFT).<sup>8</sup> [55]

Obrázek 36 znázorňuje 3D model jedné samostatné vrtule kvadrokoptéry DJI Phantom II. Vrtule rotuje kolem svislé osy s frekvencí 20 Hz. Pro numerické výpočty odraženého rozptýleného pole bylo uvažováno 512 diskretních pozic pro simulaci rotace. Výpočty byly provedeny ve frekvenčním pásmu 10 GHz a s využitím výpočetní metody MoM<sup>9</sup>. [55]

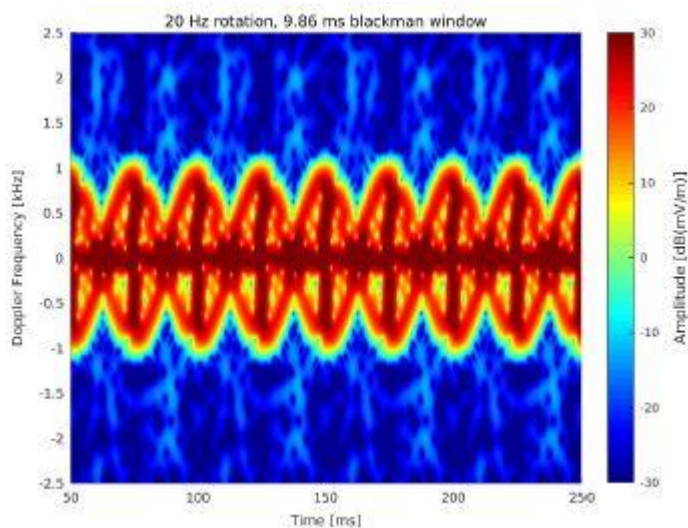


Obrázek 36: Model listu vrtule kvadrokoptéry [55]

<sup>8</sup> Fast Fourier Transformation

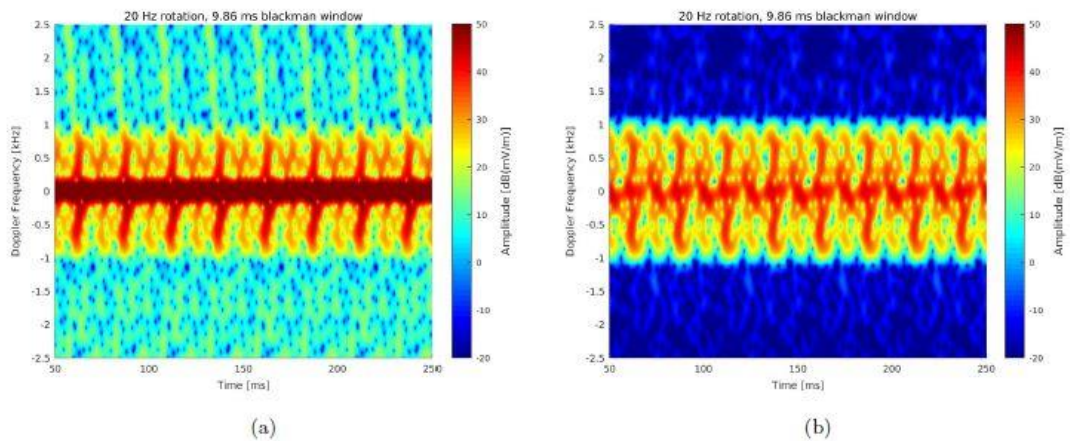
<sup>9</sup> MoM – Method of Moments

Obrázek 37 zobrazuje simulovaný spektrogram jedné samostatné vrtule kvadrokoptéry DJI Phantom II rotující rychlostí 20 Hz.



**Obrázek 37:** Simulovaný spektrogram samostatné vrtule kvadrokoptéry [55]

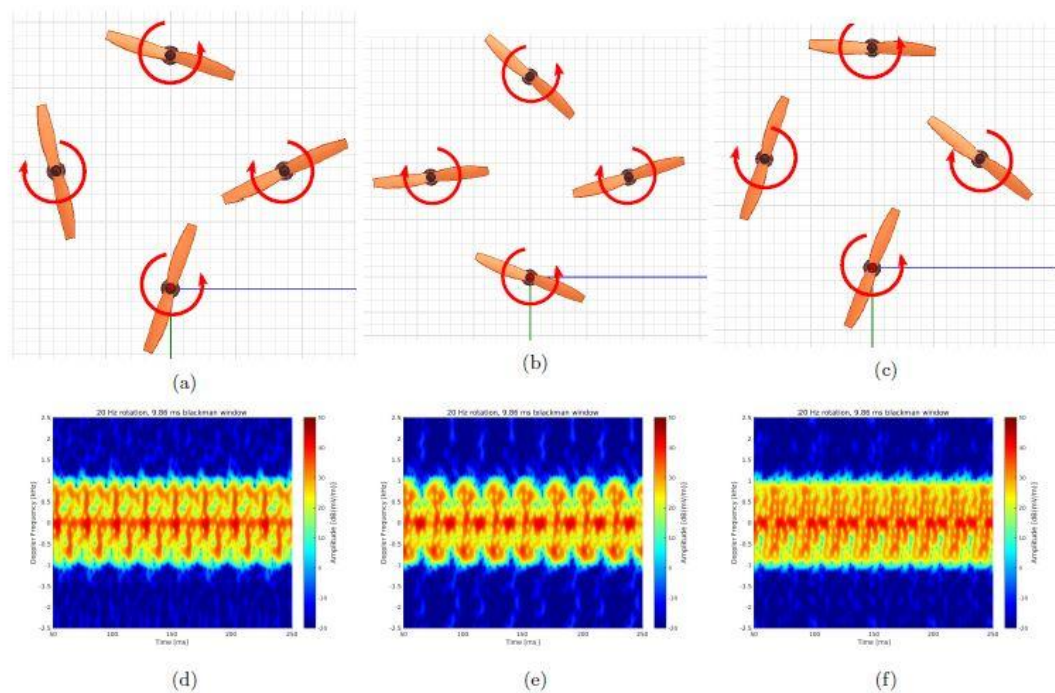
Následující část se věnuje výpočtům dopplerovských charakteristik celé kvadrokoptéry. Aby byl zachován co nejkratší čas výpočtů, trup kvadrokoptéry a všechny čtyři vrtule jsou uvažovány jako perfektně elektricky vodivé. Pro analýzu byla uvažována frekvence rotace 20 Hz pro všechny vrtule. Na obrázku 38 (Obrázek 38) je znázorněný simulovaný spektrogram čtyř kovových vrtulí s vertikální polarizací, (a) značí spektrum celé kvadrokoptéry, (b) spektrum pouze vrtulí bez trupu.[55]



**Obrázek 38:** Simulovaný spektrogram (a) celé kvadroptéry, (b) vrtulí bez trupu [55]

Vrtule koptérových systémů obvykle nejsou zarovnaný do jednoho směru, mohou mít rozdílné výchozí orientace. Následující Obrázek 39 znázorňuje simulovaný spektrogram náhodných pozic.

- (a) – (c) Výchozí orientace listů vrtule
- (d) – (f) vypočtený spektrogram uvažovaných konfigurací[55]



**Obrázek 39:** Simulovaný spektrogram náhodných konfigurací vrtulí [55]

### 6.3.5 Monitorování spektra

Výhodou takové detekce je relativně nízká pořizovací cena systému. Nevýhodou, že nelze sledovat UAS bez aktivního vysílání. Zaměření cíle je možné pouze se zaměřovačem,



což výrazně ovlivní cenu. Znalosti o vzdálenosti cíle dosáhneme pouze výpočtem z několikanásobné detekce cíle a pro zaměření je nutná aktualizace definic signálů. Nemožná je také detekce autonomních nebo automatických snímkových letů, které se pohybují po předem definovaných bodech a nevysílají žádné telemetrické údaje nebo video.

Je také nutné provádět pravidelné aktualizace profilů řídicích a video signálů.

### Pasivní monitoring spektra

Při pasivním monitoringu spektra je detekce UAS možná ihned po zapnutí RC ovladače nebo bezpilotního letadla, ještě před samotným letem. Toto poskytuje obsluze časový náskok na vyhodnocení míry rizika dodatečným ověřením míry rizika s využitím kamerového systému. Systém je schopný detekovat i nepohybující se cíle ve visu, je rozšiřitelný použitím více bočních stanic, čímž lze zlepšit pokrytí nebo dosah v problematických místech a dokáže rozlišovat mezi kooperujícími a neznámými UAS.

Systém je schopen detekce, zaměření a dekodování video signálu, který může obsahovat cenné informace pro operátora vyhodnocujícího míru rizika.

V tabulce 7 (Tabulka 7) jsou uvedeny technické specifikace vybraných neradarových produktů:

**Tabulka 7:** Technické specifikace vybraných společností [vlastní]

	Aaronia <b>AARTOS DDS</b>	Rohde&Schwarz <b>ARDRONIS</b>	DeDRONE <b>DroneTracker</b>
<b>Frekvenční pásmo</b>	9 kHz – 20 GHz 9 kHz – 6 GHz	20 MHz – 6 GHz 1,3 GHz – 6 GHz	2,4 / 5,8 GHz (ISM pásma)
<b>Funkce</b>	Analyzátor RF provozu Automatická klasifikace signálů Zaměřovač	Analyzátor RF provozu Automatická klasifikace signálů Zaměřovač Selektivní rušič	Analyzátor RF provozu Automatická klasifikace signálů Všesměrové antény
<b>Varianty</b>	Stacionární / Mobilní Více bočních přijímačů	Stacionární / Mobilní	Stacionární Více bočních přijímačů

### 6.3.6 Doplnkové systémy monitorování

**Akustický senzor** – výhodou je cenová dostupnost, nevýhodou velmi malý dosah, časté falešné cíle a požadavky na specifické prostředí. Akustický senzor není vhodný k použití

v letištním prostředí, zejména kvůli hlučnosti prostředí a požadavkům na výrazně větší dosah, než je v možnostech akustického senzoru.

**Infračervený senzor** – výhodou je možnost detekce v noci i v mlze, nevýhodou malý dosah, požadavky na prostředí a povětrnostní podmínky, systém nelze automatizovat.

**Kamerový systém** – výhodou je cenová dostupnost, nevýhodou požadavky na prostředí, povětrnostní podmínky, nelze jej použít v noci. Omezením je také fyzická velikost UA a tedy detekční dosah. Výnos z kamery umožňuje prověřit vizuálně situaci ve vzdušném prostoru, vyhodnotit míru rizika a následně přistoupit k dalším opatřením, například aktivaci provozních či bezpečnostních složek. **Kamerový systém se jeví jako nejvhodnější doplňkový systém pro použití v letištním prostředí.**

### 6.3.7 Náhled na představené detekční technologie UAS

Kombinace dopplerovské a pulsní technologie do jednoho detekčního radarového zařízení se v současné době jeví jako nejspolehlivější možnost detekce malých UA. Umožňuje detekovat rychlost a 3D pozici letícího objektu. Pokud bude radar kombinován ještě s kamerovým senzorem nebo systémem pro monitoring spektra, který bude schopen potvrdit, že detekovaný cíl je opravdu dronem, dostaneme tak nejkvalitnější možnou informaci o detekovaném nekooperujícím letadle.

Bezpilotní letadla mohou být provozována v extrémně nízkých výškách a zkušený pilot může navíc ke svému skrytí využít i stávající zástavbu, stromy atd. Takový cíl je pak téměř nedetekovatelný.

## 6.4 Osobní zkušenosti s testováním detekčních technologií UAS

V posledním roce jsem byla přítomna několika živým ukázkám funkčnosti detekčních technologií malých (spotřebitelských) dronů. Níže uvádím své poznatky z testů.

### 6.4.1 Robin Radar Systems BV, produkt ELVIRA®

(Nizozemí, vojenská letecká základna Woensdrecht)

Společnost RobinRadar čerpá ze svých bohatých zkušeností s vývojem radaru pro monitorování migrace ptactva. ELVIRA® dokáže detekovat malé UA do vzdálenosti 3 km, větší UA s pevnými křídly pak do vzdálenosti až 9 km. Pracuje za každého počasí, 24 hodin denně je schopen detekovat více cílů najednou, funkčnost byla ověřená v zastavěných prostorách s překážkami a dalšími letícími objekty. Klasifikace UA je velmi přesná díky použité metodě micro-Doppler. Radar se dodává jako statický (Obrázek 40), může být ale umístěn i na mobilním prostředku.



**Obrázek 40:** Testovací zázemí Robin Radar na základně Woensdrecht [vlastní]

#### **6.4.2 Rheinmetall AG, systémy Radshield® a Oerlikon Skymaster®**

(Švýcarsko, vojenská základna Biere)

Společnost Rheinmetall propaguje dva své produkty - Radshield® a Oerlikon Skymaster®. **Radshield** je přehledový systém navržený primárně pro využití při zabezpečení menších objektů, jako jsou například věznice. Dokáže pomocí instalovaných senzorů detekovat předměty, které narušily ochrannou bariéru. V rámci ukázky byl skrze nainstalovanou bariéru házen tenisový míč, na obrazovce se poté objevila trajektorie letu (object tracking), přesné místo a vypočítané předpokládané místo dopadu. Systém umí detekovat i drony do určité výšky nad bariérou. Během demonstrace se ukázalo, že ani v prostoru, který byl velmi vhodný pro testování detekční technologie (absence rušivých elementů, žádné blízké budovy, minimum stromů), byly často detekované falešné cíle.

Druhý nabízený systém - **Oerlikon Skymaster®** (C2/Situational Awareness tool linked to drone/bird detection and airfield radar) nabízí vhodnější použití v letectví. Cílem společnosti Rheinmetall do budoucna je poskytnout 100% obraz o vzdušné situaci provozovatelům letišť a ANSPs, být součástí budoucích UTM řešení a nabízet spolehlivé technologie detekce kooperujících i nekooperujících UA. Během ukázky systém detekoval let pouze jednoho dronu, takže možnosti byly velmi omezené. Cíl byl detekován a na zobrazení identifikován mezi ostatními cíli, které tvořilo živé ptactvo.

#### **6.4.3 Rohde&Schwarz, ARDRONIS – TEST 1**

(ČR, mezi obcemi Nové Středokluky a Dobrovíz)

Účelem testu bylo ověřit detekční schopnosti systému ARDRONIS. Test byl zaměřen na detekci aktivního (letícího, aktivovaného na zemi) dronu a pilota dronu ve vzdálenosti cca 0,9 – 2,5 km a více. Technologie ARDRONIS funguje na principu detekce radiového

spektra. Je schopná detekovat jak řídicí signál dronu, tak signál vysílaného videa, díky čemuž je schopná zaměřit polohu jak pilota UA, tak samotného dronu. Veškerá data jsou zobrazována na obrazovce, která je snadno čitelná pro dispečera. Základem obrazovky je podkladová mapa okolí. V průběhu testu byl uskutečněn let dronem na poli mezi obcemi Nové Středokluky a Dobrovíz. Testy byly provedeny dle 3 scénářů, kde byla postupně ověřena detekční schopnost systému na 900, 1300 a 2500 m.

Maximální vzdálenost dronu od dálkově řídicího pilota byla 400 m z důvodu dodržení vizuálního kontaktu během letu. Maximální výška letu UA byla stanovena na 40 metrů za účelem neovlivnění okolního leteckého provozu.

Během testu byly sledovány falešné alarmy zaznamenávané detekčním systémem ovšem bez určení jasné příčiny. Sehrát roli mohl především signál z veřejných bezdrátových sítí v pásmu 2,4 GHz, popřípadě vliv aktuálních povětrnostních podmínek.

#### 6.4.4 Rohde&Schwarz, ARDRONIS – TEST 2

(Technický blok, Letiště Václava Havla)

Druhý test systému ARDRONIS proběhl na letišti Václava Havla, kde byl systém instalován na ochozu budovy Technického bloku. Dron nelétal, byl pouze ve stand-by režimu se zapnutou řídicí jednotkou a zapnutou řídicí stanicí dálkově řídicího pilota. Testovala se schopnost a spolehlivost detekce řídicí stanice a přenášeného videosignálu z kamery bezpilotního letadla.

Obrázek 41 ukazuje tři pozice dálkově řídicího pilota s řídicí stanicí.



Obrázek 41: Zákres pozic pilota dronu při testování [vlastní]

## 6.5 Způsoby eliminace nebezpečných UAS

### 6.5.1 Rušení radiového signálu

Rušení radiového signálu (jamming) spočívá ve vysílání radiových vln mající za cíl zabránit nebo znemožnit příjem radiového signálu vysílaného na určité frekvenci, obvykle stejné, na které je vyslán signál rušící. Kvalita rušení závisí na kmitočtu a výkonu rušícího prostředku a šíření radiové vlny.

Většina běžně dostupných UAS využívá signály na kmitočtu **2,4 GHz** nebo **5,8 GHz**. Každý vysílač a přijímač UAS je k sobě spárovaný, za normálních okolností tedy nemůže dojít k příjmu jiných vln nebo pokynů než od spárovaného RC vysílače.

V současné době v Evropě neexistuje legální cesta pro použití rušiček radiového signálu UAS. Je nelegální zasahovat či poškozovat počítačový systém třetí osoby či způsobit škody na majetku třetí osobě.

Autonomní nebo automatizovaná bezpilotní letadla mohou létat a provést svou misi i bez přítomnosti řídicího signálu, na takové nekooperující cíle je tedy rušení radiového (řídicího) signálu neúčinné.

Příklad typů rušiček UAS:

**AUDS (Anti-UAV Defence System)** – produkt kooperace tří významných společností v oblasti detekce a eliminace UA. Kombinuje technologie detekující cíle pomocí elektronického radarového skenování (Blighter A400 Series Air Security Radar), elektro-optického trackování/ klasifikování UA (Hawkeye DS and EO Video Tracker od Chess Dynamics) a schopnost směrového rušení RF spektra (Directional RF Inhibitor firmy Enterprise Control Systems Ltd.). Výrobce deklaruje dosah 10 km a schopnost zachycení cíle o velikosti 0,01m<sup>2</sup> (Obrázek 42).[50]



**Obrázek 42:** AUADS - Systém obrany proti UAS [50]

### 6.5.2 Rušení GPS signálu

Drony využívají systém **GPS** pro svoji stabilizaci ve vzdušném prostoru a ve spolupráci s IMU (inerciální jednotkou) umí stabilizovat svoji 3D polohu s přesností na jednotky cm vzhledem k místu, kde naposledy došlo ke kalibraci. GPS slouží také pro předem plánovaný let, kdy dron letí z jedné GPS souřadnice na druhou (létání pomocí WAYPOINTS). Tato metoda se používá například při mapování terénu.

Rušičky GPS signálu jsou na trhu běžně dostupné. Použití rušení signálu GPS v prostředí letiště může být velmi nebezpečné. V červenci 2015 provedl Český telekomunikační úřad, s aktivní účastí Řízení letového provozu ČR, testy za účelem zjištění možného ovlivnění systémů řízení letového provozu použitím výkonné rušičky mobilních sítí/GPS/WI-FI s nastavitelným výkonem jednotlivých pásem. Deklarovaný dosah rušičky výrobcem byl 40 m. Testování proběhlo na zemi ve 4 různých vzdálenostech od GPS přijímače a ve vzduchu (let vrtulníku ve výšce 20-200m nad rušičkou se dvěma různými GPS přijímači – přenosným a vestavěným). Testování prokázalo, že rušička GPS signálu může mít až desetinásobný dosah, než je deklarováno výrobcem. Použití rušičky ovlivnilo činnost všech sledovaných ATM systémů při testování na zemi. Vzhledem k jejich několikanásobnému zálohování infrastruktury ŘLP by ale případné použití rušičky neohrozilo bezpečnost letového provozu.[57]

Při testování ze vzduchu mělo použití rušičky velmi negativní vliv na přenosný přijímač GPS signálu umístěný na palubě vrtulníku. K rušení GPS signálu ruční stanice umístěné

na palubě helikoptéry docházelo až do vzdálenosti 500 m během letu helikoptéry ve výšce 300 m. Zjištění maximální vzdálenosti rušení nebylo předmětem testů.

### 6.5.3 Kritický pohled na eliminace UA pomocí rušení

Zákon o elektronických komunikacích 125/2005 Sb., vznikal v době, kdy provoz bezpilotních systémů, až na výjimky testovacích letů či použití v armádě, byl téměř nulový. Není tedy s podivem, že přetrvávající legislativa rychlému rozvoji tohoto odvětví nevyhovuje. Dokud nebudou nastaveny nové legislativní podmínky, nelze vymýšlet žádná alternativní řešení eliminace potenciálně nebezpečných UA.

Použití rušení GPS signálu v letištním prostředí se jeví jako nevhodný způsob případné eliminace nebezpečných UA, vzhledem k možnosti ovlivnění stávajících systémů řízení letového provozu či palubních přijímačů GPS u letadel na konečném přiblížení a po vzletu. Některé (zejména levnější) UA navíc nejsou vybaveny přijímačem GPS, nelze tedy v takových případech efektivně použít rušičky GPS signálu jako eliminačního nástroje proti takovému nekooperujícímu letu.

Je nutné zmínit, že metody eliminace UA pomocí rušení neřeší případ, kdy dálkově řídicí pilot (například z důvodu výpadku komunikačního kanálu mezi letadlem a řídicí stanicí) ztratí kontrolu nad UA. Dron již v té chvíli není pod kontrolou a rušení řídicího signálu na daném kmitočtu nebude mít žádný efekt. Bepilotní letadlo bude nekontrolovaně pokračovat v závislosti na implementaci řídicí jednotky dle posledních přijatých pokynů z řídicí stanice.

### 6.5.4 Eliminace dronu pomocí vystřelené sítě

Anglická společnost **OpenWorks** uvedla na trh dva produkty, jimiž jsou **SkyWall100** a **SkyWall300**. SkyWall100 (Obrázek 43) je ruční zbraň určená k eliminaci/zachycení letícího dronu do 8m<sup>2</sup> velké sítě. Projektily jsou vícekrát použitelné, nutné odeslat do společnosti k novému „zabalení“. Dolet projektilu je cca 120-150m. Projektil může být vybaven padáčkem. SkyWall300 (Obrázek 44) je zbraň automatická, již vyžadující pevnou základnu či automobil. Stejná technologie, dostřel 200-250m, síť o velikosti 50 m<sup>2</sup>. Společnost cílí na objekty jako věznice, privátní bezpečnostní firmy, dále složky policie, pohraniční stráž, letiště či armádu.[51]



Obrázek 43: Systém Skywall 100 společnosti OpenWorks [51]



Obrázek 44: Systém Skywall 300 společnosti OpenWorks [51]



Další z možností odchyty UA je odchyt do sítě jiným dronem. Tato metoda byla testována na univerzitě v Michigenu (Michigan Tech), kde **Robotic Falcon** za pomoci sítě dlouhé 40 stop (12,2 m) provedl odchyt a bezpečně „snesení“ potenciálně nebezpečného dronu na zem. Podobnou technologii vyvíjí i nizozemská společnost DelftDynamics, která testovala systém **DroneCatcher** (Obrázek 45). V jejich případě se odchycený dron snese na padáku na zem. V případě, že by dron nesl nebezpečné látky či výbušniny, toto není velmi vhodné řešení.[52]



**Obrázek 45:** Odchyt potenciálně nebezpečného UA jiným dronem do sítě [52]

#### **6.5.4.1 Kritický pohled na eliminaci dronu pomocí zachycení do sítě**

Technologie odchyty nebezpečných UA do sítě je zajímavá, v letištním prostředí však téměř nepoužitelná, uvědomíme-li si jak rozsáhlý prostor je potřeba v případě letiště chránit a jakých je možné dosáhnout reakčních časů mezi zjištěním/detekcí UA a případným zásahem. Časová prodleva mezi nahlášením vizuálního kontaktu na dispečink letiště a možným zásahem může být natolik velká, že většinou zásahová jednotka na místě již nikoho nezastihne a útočnickova mise může být po několika desítkách vteřin nebo jednotkách minut ukončena.

Každé letiště by mělo mít zpracovaný podrobný krizový plán, ve kterém přesně definuje činnost při narušení perimetru potenciálně nebezpečným UA.

#### **6.5.5 Alternativní způsoby eliminace nebezpečných dronů**

Jedním z alternativních způsobů „odchyty“ dronů je v Nizozemí započatý speciální výcvik orlů pro policejní složky. Nizozemská policie po sériích neúspěšných zásahů, kdy dravci

neuposlechli svého sokolníka, tuto alternativu opustila. Tento způsob odchyту dronů byl navíc velmi kritizován i ochránci zvířat.

### 6.5.5.1 Kritický pohled na eliminaci dronu pomocí dravců

V letectví nelze spoléhat na nepředvídatelné chování dravců. Ani sebelepší výcvik nezaručí stoprocentní spolehlivost této alternativní metody odchyту potenciálně nebezpečných UA. Osobně sdílím na tuto metodu podobný názor jako ochránci zvířat.

## 6.6 Jiné metody ochrany

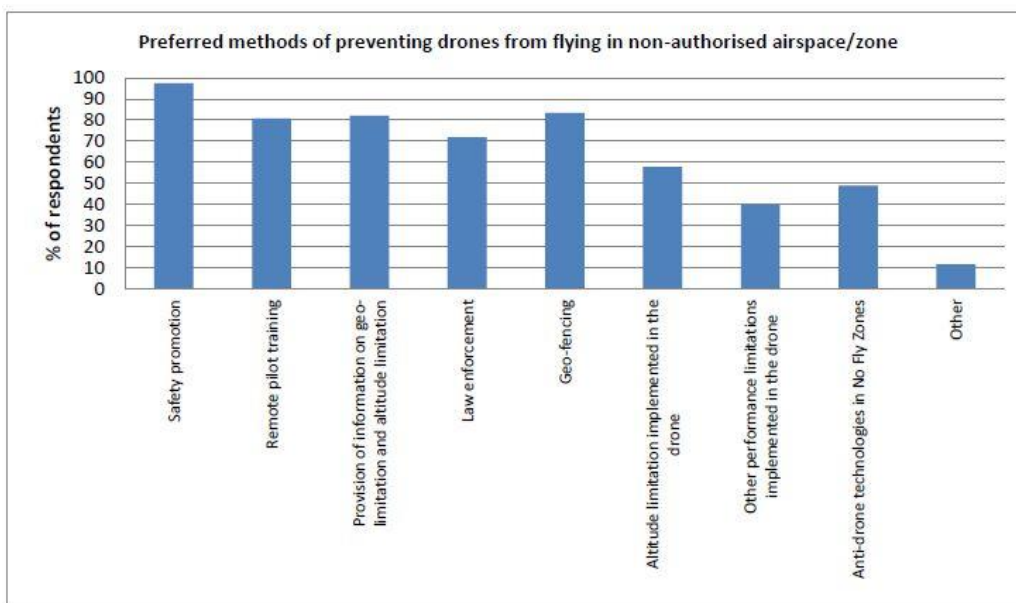
### 6.6.1 Geo-awareness

Při využití geo-awareness, na rozdíl od geo-fencingu, nedojde k zabránění vzletu nebo vniknutí, ale pilot obdrží informace o bezletových zónách v okolí a očekává se, že se jimi bude řídit.

### 6.6.2 Geo-fencing

Geo-fencing je systém zabraňující neoprávněnému vstupu (vlétnutí) do vzdušného prostoru. Uplatňuje se při ochraně kritické infrastruktury a strategických míst. Spočívá v upravení softwaru výrobcem UAS tak, že v definovaných prostorech, nelze s takto upraveným dronem vzlétnout.

Graf 6 odráží zajímavé výsledky ankety, kterou uspořádala agentura EASA na téma prevence létání dronů v zakázaných či jinak omezených prostorech. Nejpreferovanějším způsobem prevence je mediální propagace bezpečného létání, geo-fencing obsadil druhé místo.[53]



Graf 6: Preferované metody prevence létání dronů [53]

### 6.6.3 Kritický pohled na geo-fencing

Geo-fencing je velmi dobrým nástrojem prevence vniknutí potenciálně nebezpečného UA do zakázaného či jinak omezeného prostoru. Česká republika by měla jít cestou spolupráce s nejvýznamnějšími výrobci „spotřebitelských“ dronů a nastavit podmínky pro definování prostorů, ve který bude geo-fencing požadován. Tento proces bude náročný a bude vyžadovat součinnost všech významných subjektů.

V České republice v současné době není subjekt, který by byl oficiálně pověřený zpracováním podkladů a definováním prostorů pro geo-fencing. Toto téma je vhodné k přednesení na Meziresortní komisi (viz kapitola 3.1.1), která se však schází velmi nepravidelně. Podíváme-li se na mapu bezletových zón společnosti DJI (jeden z nejvýznamnějších výrobců UAS na světě) zjistíme, že pro Českou republiku je uvedeno pouze 9 takových zón (převážně u civilních řízených letišť a u několika letišť vojenských). Tyto zóny navíc jsou definovány jen přibližně, kružnicí kolem svého středu. Ostatní kritická infrastruktura je geo-fencingem nedotčena.[58]

**Nevýhodou** geo-fencingu je skutečnost, že se dotýká pouze UAS, které jsou běžně dostupné na trhu a jejich výrobci se budou chtít na geo-fencingu podílet. **Úmyslný** neoprávněný vstup s potenciálním cílem ublížit či jinak materiálně poškodit kritickou infrastrukturu geo-fencing nezastaví.

Další velkou nevýhodou je, že Geo-fencing lze snadno obejít výrobou vlastního dronu, kde řídicí software nebude od výrobce upravený.

## **7 Závěr - Shrnutí výsledků práce, doporučení pro další kroky v této oblasti**

V diplomové práci byly řešeny dva hlavní aspekty – legislativní rámec provozu bezpilotních systémů v České republice resp. v Evropě a přehled současných technologií detekce a eliminace potenciálně nebezpečných UA. Možná rizika a nebezpečí byla primárně vztažena k provozu v blízkosti řízeného letiště.

Dokumenty, které se stanou základem pro tvorbu nové evropské legislativy, byly podrobeny analýze a bylo poukázáno na některé sporné body v návrhu nových evropských pravidel.

Rozborem současné legislativy provozu bezpilotních systémů v České republice byla identifikována témata, která mohou být svým výkladem pro běžné uživatele UAS zavádějící či hůř pochopitelná. Jedním z nich je téma ochranných pásem letišť. Návrhem nové No-Fly-Zóny byla problematika složité konstrukce ochranných pásem eliminována a konečnému uživateli, kterým může být jak dálkově řídicí pilot, stanoviště AMC ČR nebo i Úřad pro civilní letectví, tak předána informace o hranici 3D bezpečného prostoru, ve kterém se mohou UAS v řízeném prostoru v blízkosti letiště pohybovat.

Výsledky jednotlivých studií a testů simulovaných srážek UA s cizím objektem za letu či na zemi potvrzují, že je v letištním prostředí potřeba chránit zejména letouny ve fázi vzletu a že i srážka s relativně malým UA může mít fatální následky.

Přehled jednotlivých technologií detekce a eliminace potenciálně nebezpečných UA ukázal, že v současné době existuje mnoho způsobů, jak drony detekovat. Žádný z těchto systémů však není stoprocentně spolehlivý a je nutné k detekci využívat jejich kombinací. Pro eliminaci nebezpečných UA zatím chybí v právním prostředí České republiky podmínky a na základě provedených testů bylo zjištěno, že některé z uvedených technologií jsou pro použití v letištním prostředí přímo nevhodné.

Bezpilotní systémy budou ve svém vývoji pokračovat, budou se miniaturizovat a využívat nové moderní materiály. Nesmíme dopustit, aby se jejich integrací do stávajícího vzdušného prostoru stalo pilotované letectví méně bezpečným. Zároveň s rozvojem těchto technologií musíme být připraveni na nový systém ochrany křehké letištní infrastruktury, mít vytvořeny nestandardní a krizové plány pro případ vniknutí bezpilotního prostředku do areálu letiště, byť je takové vniknutí úmyslné či neúmyslné.

## 8 Použité zdroje

- [1] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Letecký předpis Pravidla létání L2. In: *Letecká informační služba* [online]. Řízení letového provozu ČR, ©2018. [cit. 20.1.2018]. Dostupné z: <http://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/index.htm>
- [2] KARAS, Jakub. *222 tipů a triků pro drony*. Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4874-7.
- [3] See and Avoid. In: *SKYbrary* [online]. 8.12.2017. [cit. 20.1.2018]. Dostupné z: [https://www.skybrary.aero/index.php/See\\_and\\_Avoid](https://www.skybrary.aero/index.php/See_and_Avoid)
- [4] ICAO. Remotely piloted aircraft system (RPAS) concept of operations (CONOPS) for international ifr operations. In: *ICAO* [online]. 2017. [cit. 20.1.2018]. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/UA/Documents/RPAS%20CONOPS.pdf>
- [5] KARAS, Jakub a TICHÝ, Tomáš. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [6] Riga declaration on remotely piloted aircraft (drones): Framing the future of aviation. In: *European Commission* [online]. 10.5.2015. [cit. 23.1.2018]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/news/doc/2015-03-06-drones/2015-03-06-riga-declaration-drones.pdf>
- [7] Warsaw declaration: Drones as a leverage for jobs and new business opportunities. In: *EASA* [online]. 24.11.2016. [cit. 23.1.2018]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Warsaw%20Declaration%20on%20Drones\\_24%20Nov%202016\\_final\\_EN.PDF](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Warsaw%20Declaration%20on%20Drones_24%20Nov%202016_final_EN.PDF)
- [8] Drones Helsinki Declaration. In: *European Commission* [online]. 22.11.2017. [cit. 25.1.2018]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2017-drones-declaration-helsinki.pdf>
- [9] Základní informace: Evropská agentura pro bezpečnost letectví (EASA). In: *Úřad pro civilní letectví* [online]. ©2011. [cit. 28.1.2018]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/easa/zakladni-informace>
- [10] JARUS - Who We Are & What We Do. In: *Jarus* [online]. 2017. [cit. 28.1.2018]. Dostupné z: [http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jarus\\_who\\_we\\_are\\_what\\_we\\_do\\_v\\_6\\_0\\_version\\_15112017.pdf](http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jarus_who_we_are_what_we_do_v_6_0_version_15112017.pdf)

- [11] EUROCONTROL. Who we are. In: *Eurocontrol* [online]. ©2018. [cit. 28.1.2018].  
Dostupné z: <https://www.eurocontrol.int/articles/who-we-are>
- [12] EUROCAE. Introduction. In: *Eurocae* [online]. ©2018. [cit. 29.1.2018]. Dostupné z:  
<https://www.eurocae.net/about-us/>
- [13] ICAO. Circular 328-AN/190: Unmanned Aircraft Systems (UAS). In: *ICAO* [online].  
©2011. [cit. 30.1.2018]. 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)
- [14] ICAO. Doc 10019: Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). In: *ICAO*  
[online]. ©2015. [cit. 3.2.2018]. ISBN 978-92-9249-718-7. Dostupné z:  
<https://www.icao.int/Search/pages/results.aspx?k=DOC%2010019>
- [15] EASA. Concept of Operations for Drones: A risk based approach to regulation of  
unmanned aircraft. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 4.2.2018]. Dostupné z:  
[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/204696\\_EASA\\_concept\\_drone\\_brochure\\_web.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/204696_EASA_concept_drone_brochure_web.pdf)
- [16] SESAR. European ATM Master Plan. In: *eATM Portal* [online]. 2015. [cit. 14.2.2018].  
ISBN 978-92-9216-033-3. DOI:10.2829/512525 MG-04-15-4. Dostupné z:  
<https://www.atmmasterplan.eu/>
- [17] EASA. Proposal to create common rules for operating drones in Europe. In: *EASA*  
[online]. 2015. [cit. 18.2.2018]. Dostupné z:  
[https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/205933-01-EASA\\_Summary%20of%20the%20ANPA.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/205933-01-EASA_Summary%20of%20the%20ANPA.pdf)
- [18] EASA, Notice of Proposed Amendment 2015-10: Introduction of a regulatory  
Framework for the operation of drones. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 25.4.2018].  
Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/A-NPA%202015-10.pdf>
- [19] An Aviation Strategy for Europe. In: *EUR-Lex: Access to European Union Law*  
[online]. 2015. [cit. 25.4.2018]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52015DC0598>
- [20] EASA. Opinion of a technical nature. In: *EASA* [online]. 18.12.2015. [cit. 25.4.2018].  
Dostupné z:  
<https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Introduction%20of%20a%20regulatory%20framework%20for%20the%20operation%20of%20unmanned%20aircraft.pdf>
- [21] KOPARDEKAR, Parimal, RIOS, Joseph, PREVOT, Thomas, JOHNSON, Marcus,  
ROBINSON III, John E. and JUNG, Jaewoo. UAS Traffic Management (UTM)

- Concept of Operations to Safely Enable Low Altitude Flight Operations. In: *ARC Aerospace Research Central* [online]. AIAA, ©2018. [cit. 28.4.2018]. DOI:10.2514/6.2016-3292. Dostupné z: [https://www.utm.arc.nasa.gov/docs/Kopardekar\\_2016-3292\\_ATIO.pdf](https://www.utm.arc.nasa.gov/docs/Kopardekar_2016-3292_ATIO.pdf)
- [22] SESAR JU. European Drones Outlook Study: Unlocking the value for Europe. In: *SESAR Joint Undertaking* [online]. ©2016. [cit. 29.4.2018]. Dostupné z: [https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European\\_Drones\\_Outlook\\_Study\\_2016.pdf](https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf)
- [23] SESAR JU. Demonstrating RPAS integration in the European aviation system. In: *SESAR Joint Undertaking* [online]. ©2016. [cit. 1.5.2018]. ISBN 978-92-9216-068-5. DOI:10.2829/013869. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/RPAS-demo-final.pdf>
- [24] Small Remotely Piloted Aircraft Systems Mid-Air Collision Stud. In: *Crown, UK* [online]. ©2016. [cit. 5.5.2018]. Dostupné z: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/628092/small-remotely-piloted-aircraft-systems-drones-mid-air-collision-study.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/628092/small-remotely-piloted-aircraft-systems-drones-mid-air-collision-study.pdf)
- [25] UAS Traffic Management Architecture. In: *Global UTM Association* [online]. 2017. [cit. 6.5.2018]. Dostupné z: [https://www.gutma.org/docs/Global\\_UTM\\_Architecture\\_V1.pdf](https://www.gutma.org/docs/Global_UTM_Architecture_V1.pdf)
- [26] SESAR JU. U-space Blueprint. In: *SESAR Joint Undertaking* [online]. ©2017. [cit. 10.5.2018]. ISBN 978-92-9216-087-6. DOI:10.2829/335092 MG-04-17-617-EN-N. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint%20brochure%20final.PDF>
- [27] EUROCONTROL. RPAS ATM CONOPS: Edition 4.0. In: *Eurocontrol* [online]. ©2017. [cit. 13.5.2018]. Dostupné z: <http://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/rpas-atm-cocept-of-operations-2017.pdf>
- [28] EASA. NPA 2017-05: Introduction of a regulatory framework for the operation of drones: Unmanned aircraft system operations in the open and specific category. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 14.5.2018]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2017-05>

- [29] JARUS. JARUS guidelines on Specific Operations Risk Assessment (SORA). In: *Jarus* [online]. 2017. [cit. 14.4.2018]. Dostupné z: [http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar\\_doc\\_06\\_jarus\\_sora\\_v1.0.pdf](http://jarus-rpas.org/sites/jarus-rpas.org/files/jar_doc_06_jarus_sora_v1.0.pdf)
- [30] EASA. Opinion No 01/2018: Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the 'open' and 'specific' categories. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2001-2018.pdf>
- [31] SESAR JU. European ATM Master Plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace. In: *SESAR Joint Undertaking* [online]. ©2018. [cit. 19.4.2018]. Dostupné z: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European%20ATM%20Master%20Plan%20Drone%20roadmap.pdf>
- [32] Nachrichten für Luftfahrer. In: *DFS Deutsche Flugsicherung* [online]. 2018. [cit. 7.5.2018]. Dostupné z: [https://www.dfs.de/dfs\\_homepage/de/Drohnenflug/Regeln/Drohnen%20in%20Flughafen%20C3%A4he/1-1197-17.pdf](https://www.dfs.de/dfs_homepage/de/Drohnenflug/Regeln/Drohnen%20in%20Flughafen%20C3%A4he/1-1197-17.pdf)
- [33] CAP 722 - Unmanned Aircraft System Operations in UK Airspace: Guidance. In: *Civil Aviation Authority* [online]. ©2015. [cit. 7.5.2018]. Dostupné z: <http://publicapps.caa.co.uk/modalapplication.aspx?appid=11&catid=1&id=415&mode=detail&pagetype=65>
- [34] Aéromodélisme: Modèles Réduits et Drones de Loisir: Guide. In: *Direction generale de l'aviation civile* [online]. 13.12. 2016. [cit. 8.5.2018]. Dostupné z: [https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/recherche?form\\_build\\_id=&form\\_id=solr\\_query\\_form&query=Mod%C3%A9les+R%C3%A9duits+et+Drones+de+Loisir%3AGuide&op=search](https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/recherche?form_build_id=&form_id=solr_query_form&query=Mod%C3%A9les+R%C3%A9duits+et+Drones+de+Loisir%3AGuide&op=search)
- [35] Fly under the Special Rule for Model Aircraft. In: *Federal Aviation Administration* [online]. 2018. [cit. 9.5.2018]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/uas/getting\\_started/model\\_aircraft/](https://www.faa.gov/uas/getting_started/model_aircraft/)
- [36] Part 107: Small Unmanned Aircraft Systems. In: *Electronic Code of Federal Regulations* [online]. 2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&SID=dcf7ddb5f58f33726d33d7bc50a36d72&ty=HTML&h=L&mc=true&r=PART&n=pt14.2.107>



- [37] UAS Registration. In: *Federal Aviation Administration* [online]. 2017. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/uas/getting\\_started/registration/](https://www.faa.gov/uas/getting_started/registration/)
- [38] FAA UAS Data Exchange. In: *Federal Aviation Administration* [online]. 2018. [cit. 24.2.2018]. Dostupné z: [https://www.faa.gov/uas/programs\\_partnerships/uas\\_data\\_exchange/](https://www.faa.gov/uas/programs_partnerships/uas_data_exchange/)
- [39] FAA UAS Data on a Map. In: *FAA* [online]. Esri.com. 2018. [cit. 24.2.2018]. Dostupné z: <https://faa.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=9c2e4406710048e19806ebf6a06754ad>
- [40] Automated Airspace Authorization. In: *AirMap Web App* [online]. ©2017. [cit. 24.5.2018]. Dostupné z: <https://www.airmap.com/>
- [41] Výroční zpráva ÚCL za rok 2017. In: *Úřad pro civilní letectví* [online]. 4.5.2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/file/10170>
- [42] ICAO. DOC 9859: ICAO Safety Management Manual (SMM). In: *ICAO* [online]. ©2013. [cit. 24.4.2018]. ISBN 978-92-9249-214-4. Dostupné z: <https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition.a11text.en.pdf>
- [43] EASA. UAS Safety Risk Portfolio and Analysis. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/UAS%20Safety%20Analysis.pdf>
- [44] ASSURE UAS Airborne Collision Severity Evaluation Final Report. In: *Alliance for System Safety of UAS through Research Excellence* [online]. ASSURE, 2016. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <http://www.assureuas.org/projects/deliverables/sUASAirborneCollisionReport.php>
- [45] Chinese authorities test drone-aircraft collision. In: *Aviation Safety Network* [online]. ASN, 2017. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://news.aviation-safety.net/2017/12/10/chinese-authorities-test-drone-aircraft-collision/>
- [46] Ping20S. In: *uAvionix* [online]. ©2016. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.uavionix.com/products/ping20s/>
- [47] Fly Maia drone tracker. In: *UpVision* [online]. 2017. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://flymaia.com/tracker>

- [48] WOLFF, Christian. Radar Basics. In: *Radartutorial.eu* [online]. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <http://www.radartutorial.eu/01.basics/!rb02.en.html>
- [49] Radar Micro-Doppler Signatures. In: *Ancortec* [online]. ©2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <http://ancortek.com/academic-research-and-education>
- [50] AUDS Anti-UAV Defence System. In: *Blighter Surveillance Systems* [online]. ©2017. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html>
- [51] Skywall. In: *Openworks* [online]. ©2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://openworksengineering.com/>
- [52] DroneCatcher gets unwelcome drones under control. In: *Dekra Solutions* [online]. 2016. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.dekra-solutions.com/2016/05/dronecatcher-gets-unwelcome-drones-under-control/?lang=en>
- [53] EASA. Study and Recommendations regarding Unmanned Aircraft System Geo-Limitations. In: *EASA* [online]. ©2018. [cit. 24.4.2018]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/document-library/general-publications/study-and-recommendations-regarding-unmanned-aircraft-system>
- [54] JIROVSKÝ, Václav. Radarové zabezpečení: E-learning K623. In: *Fakulta dopravní ČVUT* [online]. 2018. [cit. 27.5.2018]. Dostupné z: <https://moodlek623.fd.cvut.cz/mod/scorm/view.php?id=17https://www.easa.europa.eu/document-library/general-publications/study-and-recommendations-regarding-unmanned-aircraft-system>
- [55] SCHRÖDR, Arne, AULENBACHER, Uwe, RENKER, Matthias, BÖNIGER, Urs, OECHSLIN, Roland, et al. RCS and micro-Doppler investigations of a consumer UAV. In: Proc. SPIE 9997, Target and Background Signatures II, 999704 [online]. 24.10.2016. [cit. 27.5.2018]. DOI:10.1117/12.2241298. Dostupné z: <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9997/1/Numerical-RCS-and-micro-Doppler-investigations-of-a-consumer-UAV/10.1117/12.2241298.short?SSO=1>
- [56] SCHRÖDER, Arne, RENKER, Matthias, AULENBACHER, Uwe, MURK, Axel, BONIGER, Urs, OECHSLIN, Roland, WELLIG, Peter. Numerical and experimental radar cross section analysis of the quadcopter DJI Phantom 2. In: *IEEE Xplore Digital Library* [online]. Radar Conference, 2015 IEEE. [cit. 27.5.2018].

DOI:10.1109/RadarConf.2015.7411928. Dostupné z:  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7411928/>

- [57] ČTÚ, ŘLP ČR, s.p. *Dopadová studie analyzující vliv běžně dostupných GPS rušiček na ATM systémy ŘLP ČR, s.p. využívající signál GPS*. Praha: ČTÚ a ŘLP ČR, s.p.2015.
  
- [58] Geo Zone Map: Europe. In: *DJI* [online]. ©2018. [cit. 26.5.2018]. Dostupné z:  
<https://www.dji.com/flysafe/geo-map>

## 9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Dílčí složky bezpilotních systémů (vlastní podle [1]) .....	15
Obrázek 2: Létání za pomoci jednoho pozorovatele (vlastní podle [2]) .....	16
Obrázek 3: Létání v přímém dohledu pilota dronu (vlastní podle [2]).....	17
Obrázek 4: Smysl otáčení vrtulí u kvadrokoptéry [55] .....	19
Obrázek 5: Rozdělení UA aktivit ve vzdušném prostoru, nová VLL vrstva (GND vrstva -500ft) [vlastní] .....	22
Obrázek 6: Dodržování vzdáleností při provozování UAS dle hmotnostních kategorií (vlastní obrázek dle [1]) .....	25
Obrázek 7: Grafické znázornění No-Fly-Zóny kolem letišť v Německu (vlastní podle [32] )...	33
Obrázek 8: No-Fly-Zóna nepřístrojové RWY kratší než 1200 m ve Francii [34].....	34
Obrázek 9: No-Fly-Zóna přístrojové dráhy delší než 1200 m ve Francii [34] .....	34
Obrázek 10: Provozní podmínky pro lety UAS v okolí heliportu ve Francii [34] .....	35
Obrázek 11: Řízené prostory v okolí města Phoenix, Arizona, USA [39].....	38
Obrázek 12: Podrobný náhled na řízený prostor letiště Phoenix Sky Harbor [39].....	39
Obrázek 13: Oblast automatického schválení letů do 100 ft [40].....	39
Obrázek 14: Oblast automatického schválení letů do 300 ft [40].....	40
Obrázek 15: Rozhodovací strom - výtah z Doplnku X Předpisu L-2 [vlastní] .....	43
Obrázek 16: Ochranná pásma výškových staveb letišť ve formátu kml v Google Earth [vlastní] .....	45
Obrázek 17: Prostory LPS v okolí LKPR ve formátu kml, vložené do Google Earth [vlastní]	46
Obrázek 18: Nově vytvořená vrstva/grid ve formátu kml vložená do Google Earth [vlastní] .	46
Obrázek 19: Detail identifikátoru konkrétního čtverce mřížky [vlastní] .....	47
Obrázek 20: Způsob hledání maximální výšky terénu v Google Earth [vlastní] .....	47
Obrázek 21: Definování nové No-Fly-Zóny v prostoru CTR Ruzyně [vlastní] .....	49
Obrázek 22: Detail porovnání kružnice 5,5 km od ARP AD LKPR s nově vytvořenou vrstvou [vlastní] .....	50
Obrázek 23: Zjednodušení procesu schvalování žádostí [vlastní] .....	51
Obrázek 24: Matice rizik podle DOC 9859 ICAO Safety Management Manual (vlastní podle [42] ) .....	52
Obrázek 25: Kokpit pro testování poškození při simulovaném nárazu, vpravo počítačový model [24].....	57
Obrázek 26: Testovací stroje [44] .....	58
Obrázek 27: Fotografie z testu nárazu kvadrokoptéry do středu čelního skla kokpitu [45]....	59
Obrázek 28: Fotografie z testu nárazu kvadrokoptéry do rohu čelního skla kokpitu [45] .....	59
Obrázek 29: Kinematika průběhu nasátí kvadrokoptéry motorem během fáze vzletu [44].....	60

Obrázek 30:Poškození lopatek motoru kvadrokoptérou během fáze vzletu [44].....	61
Obrázek 31:Mode S ADS-B odpovídač "Ping 20S" [46] .....	62
Obrázek 32: GSM Maia Tracker pro drony [47].....	62
Obrázek 33: Měření radarové odrazné plochy kvadrokoptéry [56] .....	64
Obrázek 34: Energie v místě cíle a přijímače [54] .....	64
Obrázek 35: Lineární frekvenční modulace pilovitým signálem [48] .....	67
Obrázek 36: Model listu vrtule kvadrokoptéry [55].....	68
Obrázek 37: Simulovaný spektrogram samostatné vrtule kvadrokoptéry [55] .....	69
Obrázek 38: Simulovaný spektrogram (a) celé kvadrokoptéry, (b) vrtulí bez trupu [55] .....	70
Obrázek 39: Simulovaný spektrogram náhodných konfigurací vrtulí [55] .....	70
Obrázek 40: Testovací zázemí Robin Radar na základně Woensdrecht [vlastní].....	73
Obrázek 41: Zákres pozic pilota dronu při testování [vlastní] .....	74
Obrázek 42: AUDS - Systém obrany proti UAS [50].....	76
Obrázek 43: Systém Skywall 100 společnosti OpenWorks [51] .....	78
Obrázek 44: Systém Skywall 300 společnosti OpenWorks [51] .....	78
Obrázek 45: Odchyt potenciálně nebezpečného UA jiným dronem do sítě [52] .....	79

## 10 Seznam tabulek a grafů

Tabulka 1: Klíčové dokumenty vydané k problematice bezpilotních prostředků [vlastní] .....	29
Tabulka 2: Specifika navrhované kategorie "Open" [30].....	31
Tabulka 3: Typy registrace UAS v USA [37].....	37
Tabulka 4: Ukázka výpočtu výsledného limitu AGL v programu MS Excel [vlastní] .....	48
Tabulka 5: Detekční technologie využívající kombinaci pulsního a dopplerovského radaru [vlastní] .....	66
Tabulka 6: Detekční technologie využívající FMCW radar [vlastní] .....	67
Tabulka 7: Technické specifikace vybraných společností [vlastní] .....	71

Graf 1: Vývoj počtu vydaných jednorázových PKL nad rámec standardních omezení [41] ...	42
Graf 2: Počet žádostí o NSF let v CTR Ruzyně adresovaných ÚCL [41].....	43
Graf 3: Počty hlášení vizuálního kontaktu s bezpilotním letadlem v Evropě [43] .....	55
Graf 4: Analýza výskytu vizuálního kontaktu s UAS, Evropa [43] .....	55
Graf 5: Počty hlášení vizuálního kontaktu s UAS v CTR Ruzyně [vlastní] .....	56
Graf 6: Preferované metody prevence létání dronů [53].....	80

## **11 Seznam příloh**

Příloha č. 1 Doplněk X Předpisu L-2 v aktuálním znění

Příloha č. 2 Hlava 11 předpisu L 14 – Ochranná pásma leteckých staveb

Příloha č. 3 Tabulka výpočtu výškových hodnot nově navržené No-Fly-Zóny

Příloha č. 4 Obrazová příloha ke kapitole 5