



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

David Kryška

Hrozby způsobené bezpilotními prostředky a obrany
proti nim

Bakalářská 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 BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

David Kryška

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – PIL – Profesionální pilot

Název tématu (česky): **Hrozby způsobené bezpilotními prostředky a obrany proti nim**

Název tématu (anglicky): Threats Caused by Unmanned Aerial Vehicles and Defenses Against Them

Zásady pro vypracování

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

- Právní aspekty provozu bezpilotních prostředků
- Druhy možných hrozeb
- Analýza současných obran a jejich aplikace
- Teoretický návrh obrany pro konkrétní letiště



- Rozsah grafických prací: dle pokynů vedoucího bakalářské práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Karas J., Tichý T., Drony. Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
Zákon č. 49/1997 Sb., o civilním letectví.
Letecký předpis L2 - Pravidla létání v Doplněku X - Bezpilotní systémy.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Absolon**
Ing. David Hůlek

Datum zadání bakalářské práce: **20. října 2017**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

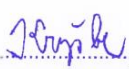
Datum odevzdání bakalářské práce: **27. srpna 2018**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia




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


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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


.....
David Kryška
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 20. října 2017

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Stanislavu Absolonovi za odborný dohled, důkladné vedení a konzultování bakalářské práce a za rady, které mi poskytoval po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je také mou povinností poděkovat svým rodičům, blízkým a přátelům za morální a materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

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).

V Praze dne 21. srpna. 2018

.....


podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Hrozby způsobené bezpilotními prostředky a obrany proti nim

Bakalářská práce

srpen 2018

David Kryška

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Hrozby způsobené bezpilotními prostředky a obrany proti nim“ je analýza současného stavu v oblasti provozu bezpilotních systémů a uvedení rizik spojených s jejich použitím v blízkosti řízených letišť. Součástí práce je rovněž provedení analýzy možných způsobů detekce bezpilotních systémů a jednotlivých Anti-UAS systémů dostupných na trhu. Výsledkem provedených analýz je návrh nejvhodnějšího opatření pro ochranu vybraného letiště před útokem bezpilotních leteckých systémů.

KLÍČOVÁ SLOVA

bezpilotní systém, bezpilotní letadlo, UA, UAS, detekce, eliminace, Anti-UAS

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of transportation sciences

Threats Caused by Unmanned Aerial Vehicles and Defenses Against Them

Bachelor thesis

August 2018

David Kryška

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis "Threats Caused by Unmanned Aerial Vehicles and Defenses Against Them" is the analysis of the present situation in the field of unmanned systems operation and the introduction of risks related to their use in the vicinity of controlled airports. Another aim of the thesis is an analysis of possible ways of detection of unmanned systems and analysis of individual Anti-UAS systems available on the market. As the result of the carried out analysis, is a proposal of the most appropriate measure to protect the selected airport from the attack of unmanned aerial systems.

KEYWORDS

unmanned system, unmanned aircraft, UA, UAS, detection, elimination, Anti-UAS

Obsah

1	Úvod	8
2	Právní aspekty provozu bezpilotních systémů	10
2.1	Legislativa z pohledu České republiky	10
2.1.1	Definice vybraných pojmů.....	12
2.1.2	Dělení bezpilotních systémů	13
2.1.3	Bezpečnost a zodpovědnost.....	13
2.1.4	Vzdušné prostory.....	14
2.1.5	Povinnosti pilota	16
2.1.6	Shrnutí.....	17
2.2	Legislativa z evropského pohledu – EASA.....	17
2.2.1	Rozdělení bezpilotních systémů	18
2.2.2	Technické požadavky	20
2.2.3	Letové prostory.....	21
2.2.4	Povinnosti provozovatele.....	22
2.2.5	Povinnosti pilota	22
2.2.6	Shrnutí.....	22
3	Druhy možných hrozeb	24
3.1	Negativní užití	24
3.2	Pozitivní užití	25
4	Analýza současných způsobů obrany a jejich aplikace	28
4.1	Detekce bezpilotních prostředků.....	28
4.1.1	Detektory hluku.....	28
4.1.2	Detektory rádiového spektra	28
4.1.3	Radarové zaměřování	29
4.1.4	Termovizní kamera	29
4.2	Eliminace bezpilotních systémů	30
4.3	Analýza nabídky Anti-UAS systémů dostupných na trhu.....	31
4.4	Závěr	39
5	Teoretický návrh obrany konkrétního letiště.....	40
5.1	Charakteristika vybraného letiště	40
5.2	Současný stav systému ochrany vybraného letiště proti bezpilotním letadlům	41
5.2.1	Vybrané události související s narušením CTR LKPR.....	42
5.2.2	Systém ochrany proti bezpilotním letadlům na LKPR.....	43
5.3	Anti-UAS systémy používané na letištích v Evropě.....	44

5.3.1	Návrh na detekci a eliminaci bezpilotních letadel na Letišti Václava Havla Praha.....	45
6	Závěr	50
7	Použité zdroje.....	52
8	Seznam obrázků.....	58
9	Seznam tabulek.....	59
10	Seznam příloh.....	60

Seznam použitých zkratek

AAL	Nad úrovní letiště	Above aerodrome level
ACFT	Letadlo	Aircraft
AFIS	Letištní letová informační služba	Aerodrome flight information service
AGL	Nad úrovní země	Above ground level
AMSL	Nad střední hladinou moře	Above mean sea level
ARP	Vztažný bod letiště	Aerodrome reference point
ATZ	Letištní provozní zóna	Aerodrome traffic zone
CTR	Řízený okrsek	Control zone
CZK	Koruna česká (<i>měnová jednotka</i>)	Czech koruna (<i>currency unit</i>)
ČR	Česká republika	Czech republic
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze	Czech Technical University in Prague
EASA	Evropská agentura pro bezpečnost v letectví	European Aviation Safety Agency
EIS	Elektronický identifikační systém	Electronic identification system
EUR	Euro (<i>měnová jednotka</i>)	euro (<i>currency unit</i>)
FEL	Fakulta elektrotechnická	Faculty of electrical engineering
ft	Stopa (<i>měrová jednotka</i>)	Feet (<i>dimensional unit</i>)
GBAS	Systém s pozemním rozšířením	Ground-based augmentation system
GBP	Libra šterlinků (<i>měnová jednotka</i>)	Pound sterling (<i>currency unit</i>)
GLONASS	Globální navigační družicový systém na oběžné dráze	Global orbiting navigation satellite system
GNSS	Globální navigační družicový systém	Global navigation satellite system
GPS	Globální navigační systém	Global positioning system
ICP	Integrační centrum Praha	Integration Centre Prague
ILS	Systém pro přesné přiblížení a přistání	Instrument landing system
LKD	Nebezpečný prostor	Dangerous area
LKP	Zakázaný prostor	Prohibited area
LKPR	Letiště Václava Havla Praha	Vaclav Havel Airport Prague
LKR	Omezený prostor	Restricted area
LUC	LUC certifikát	Light operator certificate

m	Metr (<i>měřová jednotka</i>)	Meter (<i>dimensional unit</i>)
MCTR	Vojenský řízený okresek	Military control zone
MTOM	Maximální vzletová hmotnost	Maximum take-off mass
NDB	Nesměrový radiomaják	Non-directional radio beacon
NM	Námořní míle	Nautical miles
PGA	Profesionální golfová asociace	Professional Golfers Association
RADAR	Rádiové rozpoznávání a zaměřování	RAdio Detection And Ranging
RNAV	Prostorová navigace	Area navigation
RWY	Dráha	Runway
ŘLP	Řízení letového provozu	Air navigation services
SIM	SIM karta	subscriber identification module
SN	Jedinečné sériové číslo	Unique serial number
SSR	Sekundární přehledový radar	Secondary surveillance radar
THR	Práh dráhy	Threshold
TMA	Koncová řízená oblast	Terminal control area
TNO	Nizozemská organizace pro aplikovaný vědecký výzkum	Netherlands Organisation for Applied Scientific Research
TOM	Vzletová hmotnost	Take-off mass
TRA	Dočasně rezervovaný vzdušný prostor	Temporary reserved airspace
TSA	Dočasně vyhrazený prostor	Temporary segregated airspace
UA	Bezpilotní letadlo	Unmanned aircraft
UAS	Bezpilotní systém	Unmanned aircraft system
ÚCL	Úřad civilního letectví	Civil aviation authority
USD	Americký dolar (<i>měnová jednotka</i>)	United States dollar (<i>currency unit</i>)
ÚZPLN	Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod	Air accidents investigation institute
VHF	Velmi krátké vlny	Very high frequency
VLOS	Provoz ve vizuálním dohledu	Visual line of sight
VOR	VKV všesměrový maják	VHF omnidirectional radio range
VPD	Vzletová a přistávací dráha	Runway

1 Úvod

Pojem bezpilotní prostředky se v současné odborné terminologii již nepoužívá. Byl nahrazen pojmem bezpilotní systém nebo bezpilotní letadlo. Bepilotní letecké systémy můžeme charakterizovat jako letecké systémy bez posádky na palubě. Jde o letadla, která mohou být řízena na dálku nebo mohou létat automaticky dle předem nadefinovaných letových plánů, popř. pomoci složitějších dynamických autonomních systémů. Bepilotní letadla se často využívají v armádě k průzkumným i útočným letům a v civilním sektoru, kde se používají také k mnoha jiným účelům, např. při leteckém snímkování, v oblasti bezpečnosti, k průzkumu terénu.

Způsobů a možností, jak využívat bezpilotní letecké systémy, je mnoho. Hlavní výhodou využití těchto systémů je větší efektivita práce a větší cenová efektivita jejich nasazení v porovnání s klasickými letouny obsluhovanými lidskými posádkami. Velmi snadno se ovládají, jejich příprava ke vzletu je v podstatě okamžitá a díky své odolnosti se mohou posílat do životu nebezpečných oblastí. Mohou je využívat záchranáři pro rychlé vyhledání nehody, hasiči pro zachycení velikosti požáru, policisté pro získání potřebných dat pro dopadení pachatele. Dále je možno je také použít v přírodních podmínkách pro nejrůznější druhy leteckého monitoringu a mapování. Bepilotní letecké systémy jsou výsledkem technologického vývoje a je třeba je využívat efektivně tam, kde má jejich nasazení smysl.

Nejjednodušší využití bezpilotních systémů je samozřejmě pro zábavu. Momentálně jsou dostupné široké veřejnosti, což může vést k jejich neodbornému používání. Důležitým aspektem správného použití bezpilotních leteckých systémů je platná legislativa pro jejich provoz. Velkým problémem je zejména narušování letových zón okolo letišť, ať už vědomě či neúmyslně. Rovněž by se daly zneužít i k cílenému poškození letounu nebo terminálu letiště. Problematika ochrany letiště proti bezpilotním leteckým systémům nabývá neustále na významu z důvodu rostoucího počtu incidentů, které mohou ohrozit letadla při vzletu či přistání. Tyto skutečnosti zvyšují nároky na řízení letového provozu všech letišť, které tak musí řešit ochranu letiště např. použitím systémů pro včasnou detekci nežádoucích bezpilotních strojů.

Cílem této bakalářské práce je vymezení hrozeb, které mohou vzniknout nesprávným, ať již úmyslným, či neúmyslným použitím bezpilotních systémů, dále analyzovat aktuálně dostupné nebo vyvíjené obrany a navrhnout opatření pro ochranu konkrétního letiště před útokem bezpilotních leteckých systémů.

Bakalářská práce se zabývá aktuální problematikou, která je v odborných kruzích často diskutována a není v odborné literatuře doposud dostatečně zpracována. Přínos této práce je

v tom, že shrnuje současnou situaci v oblasti provozu bezpilotních leteckých systémů a mapuje všechny dostupné možnosti ochrany proti jejich zneužití.

2 Právní aspekty provozu bezpilotních systémů

Vzhledem k rostoucímu počtu bezpilotních systémů mezi běžnými lidmi je nutné legislativně zakotvit veškerá pravidla, která se týkají tohoto provozu. Ještě před několika lety byla bezpilotní letadla poměrně drahá věc a byla výsadou armád. Dnes ty nejdokonalejší stojí už jen pár desítek tisíc korun a objevují se čím dál častěji, jak v komerčním provozu, tak v soukromém použití. Aktuálně je v oběhu zhruba 20 bezpilotních letadel na jedno letadlo, do roku 2025 se předpokládá 50 bezpilotních letadel na jedno letadlo. Člověk amatér, má ale obvykle malé povědomí o přísných pravidlech spojených s provozováním bezpilotních letadel. S tím, jak se zvyšuje počet bezpilotních letadel, přibývá a roste i počet přestupků. [1]

V této práci bude uveden legislativní pohled na bezpilotní systémy z pohledu České republiky a z pohledu Evropské agentury pro bezpečnost letectví (EASA).

2.1 Legislativa z pohledu České republiky

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. Dle § 2 odst. 2 se za letadlo nepovažuje model letadla, jehož maximální vzletová hmotnost nepřesahuje 25 kg. Dle ustanovení § 52 tohoto zákona může létat letadlo bez pilota nad územím České republiky jen na základě „Povolení k létání letadla bez pilota“ vydaného Úřadem pro civilní letectví za podmínek stanovených v tomto povolení. Úřad povolení vydá, nebudou-li ohroženy bezpečnost létání ve vzdušném prostoru, stavby a osoby na zemi a životní prostředí. Dle § 44 odst. 1 stanoví pravidla létání prováděcí předpis, kterým je vyhláška č. 108/1997 Sb., kterou se provádí zákon 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. Tato vyhláška v § 14 uvádí podmínky provozu bezpilotních systémů mimo letiště.

Problematiku létání s bezpilotními systémy řeší letecký předpis L2 – Pravidla létání. Konkrétně se jedná o Dodatek 4 – Systémy dálkově řízeného letadla, Dodatek 5 – Volné balóny bez pilota na palubě se zátěží, Doplněk R – Podmínky pro provoz balónů bez pilota na palubě a zejména Doplněk X – Bepilotní systémy, který se týká nejčastěji provozovaných UAS.

Doplněk X, který vešel v platnost 1. března 2012, zavedl pojem „bepilotní letadlo“, pro jehož provoz stanovil podmínky přibližující se ke zvyklostem v pilotovaném letectví a striktně tak oddělil modelářské aktivity od komerčního využití dálkově ovládaných strojů. Dálkově ovládané letadlo využívané jen pro sportovní, soutěžní a rekreační účely je nazýváno modelem letadla. [2]

Doplněk X stanovuje závazná pravidla pro provoz všech bezpilotních letadel nebo modelů letadel se vzletovou hmotností nad 25 kg. Doplněk X je doporučeným postupem pro provoz modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 25 kg s výjimkou ustanovení bodu 7 Prostory, které jsou pro ně závazná. Pro tyto modely letadel není požadováno povolení k létání, evidence ani pojištění.

Pro bezpilotní letadla do 25 kg využívaná pro rekreační a sportovní účely není vyžadována evidence ani povolení k létání; pojištění je nutné jen v případě, když se jedná o letecké veřejné vystoupení.

Pokud jsou bezpilotní letadla využívána k výdělečné, experimentální nebo výzkumné činnosti, tak bez ohledu na maximální vzletovou hmotnost vždy vyžadují povolení k létání, evidenci i pojištění. Nezbytnou součástí získání povolení k létání je uzavření pojištění odpovědnosti za škody způsobené provozem letadel. Pokud má být bezpilotní letadlo provozováno za účelem výdělku, je nutné dle § 74 zákona o civilním letectví získat „Povolení k provozování leteckých prací“. V případě, že je letová činnost prováděna v souvislosti s vnitřními potřebami firmy, tak je nutné požádat o „Povolení k provozování leteckých činností pro vlastní potřebu“ (§ 76 zákona o civilním letectví).

Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy je uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 1 Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy. [3]

Provoz bezpilotního letadla musí být v souladu i s dalšími právními předpisy jako např. zákon č. 310/2006 Sb., o nakládání s bezpečnostním materiálem, zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, zákon č. 356/2003 Sb., o chemických látkách a chemických přípravcích, zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, zákon

č. 245/2001 Sb., o vodách, zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů a v souladu se stanoviskem Úřadu pro ochranu osobních údajů č. 1/2013. [4]

Dohled na veškerým provozem ve vzdušném prostoru České republiky, tedy i v oblasti bezpilotních systémů, vykonává Úřad pro civilní letectví ČR zřízený ministerstvem dopravy.

2.1.1 Definice vybraných pojmů

Pro lepší pochopení souvislostí zde bude uvedeno vysvětlení několika důležitých pojmů použitých v této práci.

Bezpilotní systém (UAS)

Systém, který se skládá z několika částí, z bezpilotního letadla, z řídicí stanice a z dalších prvků nezbytných k umožnění letu.

Bezpilotní letadlo (UA)

Takové letadlo, které je určeno k provozu bez pilota na palubě a které je za letu řízené automatickým zařízením nebo dálkově ze země. Bezpilotní letadla se dále rozdělují na autonomní letadla a dálkově řízená letadla.

Autonomní letadlo

Autonomním letadlem se myslí takové bezpilotní letadlo, které neumožňuje zásah pilota do řízení letu.

Dálkově řízené letadlo

Dálkově řízeným letadlem se myslí takové bezpilotní letadlo, které pilot řídí dálkově.

Model letadla

Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, obvykle je používáno pro sportovní, soutěžní nebo rekreační účely. Není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo. V případě, že je dálkově řízeno, je po celou dobu dálkově řízeno pomocí vysílače přímo pilotem v jeho vizuálním dohledu. V případě, že není dálkově řízeno, jde o volný model, jehož jediným účelem je ukončení letu.

Vzletová hmotnost (TOM)

Vzletovou hmotností bezpilotního systému nebo modelu letadla se myslí taková hmotnost, která v sobě zahrnuje samotnou hmotnost bezpilotního systému včetně vybavení, provozních náplní, paliva a nákladu před zahájením vzletu. [5]

Maximální vzletová hmotnost (MTOM)

Maximální vzletovou hmotností bezpilotního systému nebo modelu letadla se rozumí maximální vzletová hmotnost schválená v rámci povolení k létání vydaného Úřadem pro civilní

letectví, bylo-li toto povolení vydáno. Jde o maximální povolenou celkovou hmotnost před vzletem. V ostatních případech se prakticky jedná o vzletovou hmotnost.

MTOM tedy vyjadřuje hmotnostní limit, zatímco TOM vyjadřuje aktuální hmotnost před zahájením vzletu. TOM může být stejná jako MTOM nebo nižší; nesmí však být vyšší. [5] V doplňku X je mylně uvedena definice maximální vzletové hmotnosti, která kombinuje navzájem definice pro TOM a MTOM.

2.1.2 Dělení bezpilotních systémů

Bezpilotní letecké systémy můžeme členit podle různých kritérií. Základní členění, ze kterého vychází legislativa v mnoha zemích, je dělení na bezpilotní systémy určené pro běžné uživatele (amatéry) a bezpilotní systémy určené pro profesionály.

Dalším důležitým kritériem je velikost a hmotnost těchto systémů. Hmotnostní kategorie jsou určeny Úřadem pro civilní letectví. Dle maximální vzletové hmotnosti bezpilotní systémy dělíme do těchto kategorií:

- do 0,91 kg,
- od 0,91 kg do 7 kg,
- od 7 kg do 25 kg,
- nad 25 kg.

2.1.3 Bezpečnost a zodpovědnost

Let bezpilotního letadla musí být proveden tak, aby nedošlo k ohrožení osob, majetku na zemi a bezpečnosti letového provozu ve vzdušném prostoru. V České republice rozeznáváme několik vzdušných prostorů – tříd: C, D, E a G. Prostor třídy G je definován od země do výšky 1 000 ft AGL. Bezpilotní letadla se mohou pohybovat v prostoru třídy G, ale také i v prostorech třídy C, D a E. Podrobnější informace jsou rozepsány v další kapitole.

Bezpilotní letadlo smí být provozováno jen v přímém dohledu pilota, tj. do takové vzdálenosti, aby měl pilot vždy vizuální kontakt s bezpilotním letadlem během všech jeho fází letu. Pilot nesmí využívat vizuální pomůcky, výjimkou jsou brýle a kontaktní čočky na lékařský předpis.

Bezpilotní letadlo nesmí nést žádné nebezpečné zboží, které by mohlo způsobit obecné ohrožení, výjimkou jsou provozní kapaliny nezbytně nutné pro správnou funkci. Ani nesmí žádný náklad shazovat, tato možnost je povolena pouze během veřejných vystoupení a soutěží. Dále musí být vybaven vestavěným bezpečnostním systémem „failsafe“, který s bezpilotním letadlem automaticky sám přistane a ukončí let, pokud dojde ke ztrátě spojení mezi vysílačem a řídicí jednotkou bezpilotního letadla. Výjimkou je hmotnostní kategorie do 0,91 kg, která je provozována jen pro rekreační účely.

Veškerou odpovědnost za provedení bezpečného letu, včetně předletové přípravy a veškerých nezbytných kontrol má ta osoba, která přímo dálkově řídí bezpilotní letadlo.

2.1.4 Vzdušné prostory

Dle ustanovení 7 - Prostory Doplnku X – Bepilotní systémy smí být prováděn let bezpilotního letadla jen v následujících prostorech:

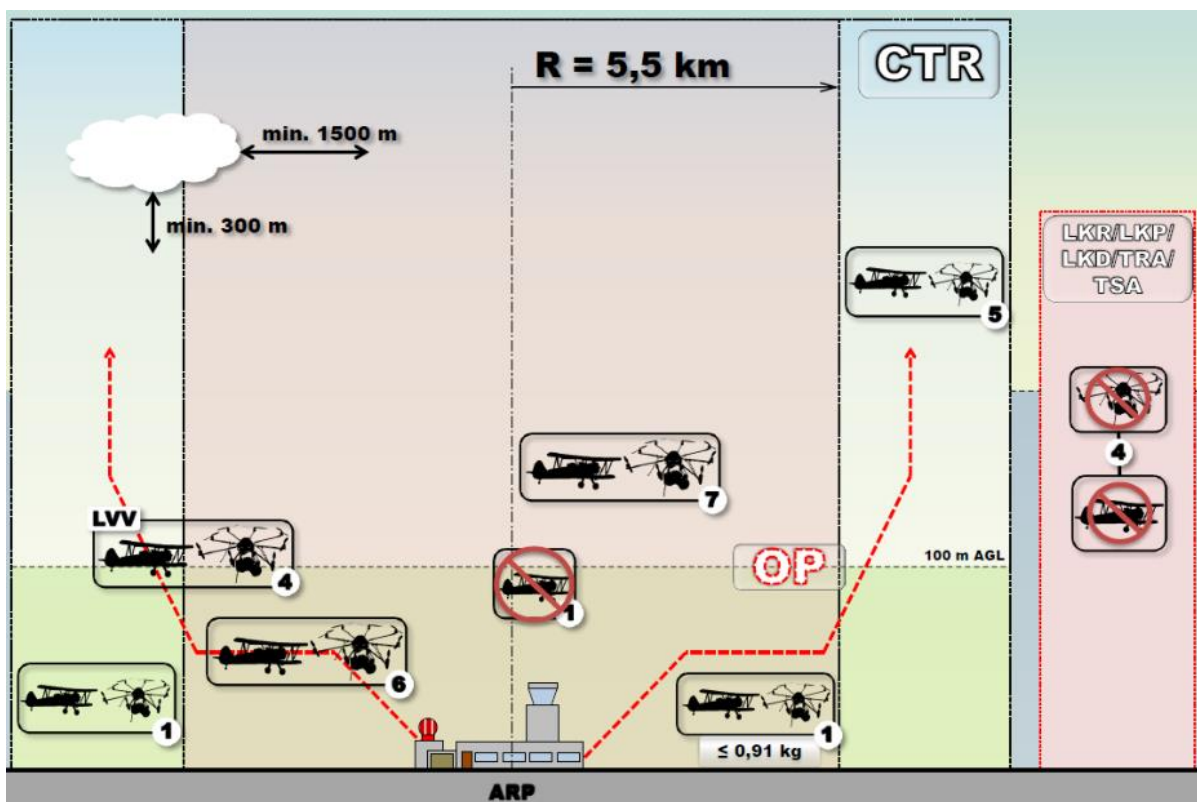
- v prostoru třídy G,
- v letištní provozní zóně (ATZ),
- v řízeném okrsku (CTR a MCTR).

Prostor třídy G je neřízený vzdušný prostor definovaný od země do výšky 1 000 ft AGL včetně. Nad 1 000 ft AGL začíná prostor třídy E sahající do letové hladiny 95.

V letištní provozní zóně ATZ lze provést let na základě splněných podmínek provozovatele letiště a na základě koordinace s letištní letovou informační službou AFIS nebo se stanovištěm poskytování informací známému provozu. ATZ zóna je definována od země do 4 000 ft AMSL, tzn. že v České republice obvykle přesáhne výškovou hranici 1 000 ft AGL, v tomto případě lze let uskutečnit, avšak pouze pokud se v ATZ poskytuje služba AFIS nebo je zajištěno poskytování informací známému provozu. Výjimku tvoří bezpilotní letadla s MTOM do 0,91 kg, které mohou být provozovány v ATZ i bez koordinace, avšak pouze do výšky 100 m AGL a mimo ochranná pásma daného letiště.

Řízený okrsek a vojenský řízený okrsek představují řízené vzdušné prostory třídy C a D, v těchto okresech lze také provozovat bezpilotní letadla, avšak pouze do výšky 100 m AGL a to v horizontální vzdálenosti větší než 5 500 m (3 NM) od vztažného bodu letiště. Vztažným bodem je myšlen takový bod, který je umístěn blízko původního nebo plánovaného geometrického středu letiště. Výjimku opět tvoří bezpilotní letadla s MTOM do 0,91 kg, ty mohou provádět let blíže vztažnému bodu letiště i bez předchozí koordinace, avšak pouze do výšky 100 m AGL a nesmí narušit ochranné pásmo letiště. V případě koordinace s příslušným stanovištěm řízení letového provozu a provozovatelem letiště lze toto omezení porušit, obvykle je uplatňováno během leteckých prací a leteckých vystoupení. Stanoviště řízení letového provozu může vyžadovat po bezpilotních letadlech s MTOM vyšší jak 0,91 kg použití SSR odpovídače, pokud se budou pohybovat blíže vztažnému bodu než 5 500 m (3 NM).

V zakázaných, nebezpečných, omezených, rezervovaných a vyhrazených prostorech je provoz bezpilotního letadla zakázán. Samozřejmě, existují výjimky dané ÚCL, který může umožnit let bezpilotního letadla i mimo takto definované prostory. Pro lepší pochopení rozložení jednotlivých prostorů existujících v České republice jsou zde přiloženy následující



Obrázek 4 Provoz v CTR (případně MCTR), LKR/LKP/LKD/TRA/TSA. [4]

2.1.5 Povinnosti pilota

Pilotem se myslí osoba, která přímo řídí bezpilotní letadlo. Jeho povinností je provést záznam informací o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu. V těchto údajích musí být obsaženo datum letu, jméno pilota, označení bezpilotního letadla, místo vzletu a přistání, doba letu a další potenciální možné události související s bezpečností letu. [4]

Pilot není zodpovědný za zachování letové způsobilosti bezpilotního systému, tuto zodpovědnost má na starosti jeho vlastník.

Pilot by měl provést řádnou předletovou přípravu. Zjištění aktivovaných prostorů lze během předletové přípravy ověřit na webu Letecké informační služby (LIS) Řízení letového provozu ČR na webových stránkách <http://lis.rlp.cz>. Dále by se měl pilot vyhnout všem ochranným pásmům v okolí – podél nadzemních dopravních staveb, inženýrských sítí, chráněných území a ostatních důležitých objektů. Let lze provést jen vně oblaků v prostoru třídy G nebo 300 m vertikálně pod oblačností a 1 500 metrů horizontálně od oblaků v prostoru třídy E v ATZ, jak je uvedeno v ustanovení 9 Meteorologická minima Doplněk X – Bepilotní systémy. Bepilotní letadla s MTOM do 0,91 kg mohou létat také v řízených prostorech bez předchozí koordinace s příslušným řízením letového provozu daného letiště.

Během vzletu a přistání se nesmí pilot s bezpilotním letadlem přiblížit k jiné osobě na horizontální vzdálenost menší než 50 m, vyjma sám sebe a osob přímo zapojených

do provozu bezpilotního letadla za předpokladu předchozí dohody zúčastněných pilotů a osob. Ve fázi letu musí být udržována horizontální vzdálenost větší než 100 m od osob a budov, které nejsou součástí předmětného provozu a 150 m od hustě osídleného prostoru.

Pilot by měl disponovat základní schopností bezpečně řídit bezpilotní letadlo a měl by mít požadovanou teoretickou znalost, tudíž by měl být zcela seznámen s touto kapitolou – s legislativou, a měl by si být vědom veškerých rizik a z toho plynoucích následků. V případě nehody je pilot povinen tuto skutečnost ohlásit. Výjimku opět tvoří rekreačně sportovní bezpilotní prostředky s MTOM do 25 kg, jichž se tyto dvě podmínky netýkají.

V případě, že je pilot evidován na ÚCL, řízení bezpilotního letadla nesmí předat osobě, která není evidována ÚCL, toto ustanovení se týká konkrétních typů a modelových řad bezpilotních letadel při využití k leteckým pracím a leteckým činnostem pro vlastní potřebu nebo pro danou kategorii v případě rekreačně-sportovního využití.

2.1.6 Shrnutí

Veškeré civilní využívání vzdušného prostoru a provoz letadel řeší zákon 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.

Letecký předpis L2 Pravidla létání (Doplněk X – Bepilotní systémy) uvádí, za jakých podmínek lze provozovat bezpilotní systémy. Tím vymezuje prostor, ve kterém je možno s nimi létat. Tento předpis však neřeší situace, kdy dojde ze strany majitele bezpilotního letadla k jeho úmyslnému či neúmyslnému narušování zakázaných prostorů. V těchto případech je obtížné vypátrat majitele bezpilotního letadla, jelikož by musel být chycen přímo při činu.

Lze konstatovat, že technologie je daleko před legislativou.

2.2 Legislativa z evropského pohledu – EASA

Tato podkapitola je zaměřena na aktuálně navrhovanou legislativu v oblasti použití bezpilotních systémů v rámci působnosti organizace EASA, která vznikla nařízením Evropského parlamentu a Rady č. 1592/02 o společných pravidlech v oblasti civilního letectví dne 15. července 2002. EASA je Evropská agentura pro bezpečnost civilního letectví, jejíž členy jsou všechny země Evropské unie včetně Islandu, Lichtenštejnska, Norska a Švýcarska.

V posledních několika letech se výrazně rozšířil vývoj bezpilotních letadel s maximální vzletovou hmotností menší než 25 kg. V souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 („Základní nařízení“), o společných pravidlech v oblasti civilního letectví a o zřízení Evropské agentury pro bezpečnost letectví spadá právní úprava provozu civilních bezpilotních systémů do kompetence jednotlivých členských států Evropské unie.

Dne 22. prosince 2017 se členské státy Evropské unie dohodly s Evropským parlamentem na rozšíření tohoto „Základního nařízení“, jehož cílem je vytvoření jednotného legislativního rámce zabývajícího se pravidly a provozem bezpilotních systémů napříč všemi členskými státy. Dojde tak ke sjednocení legislativy a definování základních požadavků k zajištění vysoké a jednotné úrovně bezpečnosti při provozu bezpilotních systémů a k podpoře rozvoje tohoto trhu. Dále přispěje k ochraně soukromí, k ochraně údajů a ke zvýšení bezpečnosti. Evropský parlament tak získá pravomoc nad provozem všech bezpilotních systémů kromě těch, které jsou určeny ke státnímu účelu – jako např. k policejním, vojenským, hasičským a celním účelům.

Tato podkapitola vychází z „Opinion No 01/2018 - Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the ‘open’ and ‘specific’ categories“ publikovaného na webových stránkách organizace EASA. [6]

2.2.1 Rozdělení bezpilotních systémů

EASA rozděluje bezpilotní systémy z hlediska možných rizik při provozu do tří kategorií:

- Otevřená kategorie,
- Specifická kategorie,
- Certifikovaná kategorie.

V úvahu jsou vzata dvě hlavní rizika:

- letové riziko – kolize UA ve vzduchu s jiným UA,
- pozemní riziko – kolize UA s osobou nebo kritickou infrastrukturou.

Hodnocení těchto rizik se zakládá na konfliktu ve vzduchu, na kontrole ztráty nad řízením UAS a na dalších systémových selháních UAS. Tato rizika se odrážejí v požadavcích pro otevřenou kategorii a specifickou kategorii. Jako příklad lze uvést požadavky pro bezpilotní letadla v otevřené kategorii při konfliktu ve vzduchu: povolená maximální výška, provoz pouze v podmínkách VLOS.

Otevřená kategorie

Do otevřené kategorie spadají ty bezpilotní systémy, které představují nízké riziko nevyžadující předchozí povolení příslušného úřadu ani prohlášení provozovatele bezpilotního systému před uskutečněním letu.

Obecným pravidlem je, že maximální vzletová hmotnost je menší než 25 kg, bezpilotní systémy lze provozovat do výšky 120 m AGL v podmínkách VLOS v dostatečné vzdálenosti od letiště. A dále se otevřená kategorie bude dělit do tří podkategorií dle přístupu založených

na možných rizicích. To umožní povolení provozování různého typu bezpilotních systémů, aby bylo možno létat bez předchozího schválení příslušným národním úřadem. Jedná se o následující podkategorie:

- podkategorie A1,
- podkategorie A2,
- podkategorie A3.

Podkategorie A1

Podkategorie A1 bude umožňovat lety nad lidmi, avšak bude zakázáno létat nad shromážděním osob. Pokud bude bezpilotní letadlo provozováno v režimu „follow-me“, smí se pohybovat v maximální povolené výšce 50 m AGL. Pilot zodpovědný za bezpilotní letadlo musí být seznámen s jeho bezpečným provozováním nebo v případě provozování s platicím zatížením a MTOM větším než 250 g musí pilot projít online kurzem definovaným EASou zakončený online zkouškou.

Podkategorie A2

Podkategorie A2 bude umožňovat létat v blízkosti lidí, přičemž bude muset být od nich udržována bezpečná vzdálenost 5 metrů. Pilot bude muset být držitelem certifikátu, který všeobecně zajistí, že let bude bezpečný, protože pro jeho získání bude nutné absolvovat teoretický test definovaný organizací EASA.

Podkategorie A3

Podkategorie A3 bude umožňovat lety ve značné vzdálenosti od lidí a od hustě osídlených oblastí. Pilot opět bude muset projít online kurzem zakončeným online testem definovaným organizací EASA.

Specifická kategorie

Obecně byla tato kategorie vytvořena pro bezpilotní systémy, které nesplňují požadavky pro otevřenou kategorii. Specifická kategorie zahrnuje ty bezpilotní systémy, které představují zvýšené riziko a provozovatel má povinnost provést posouzení všech možných rizik souvisejících s provozem UAS před zahájením provozu.

Každý let bude muset schválit příslušný letecký úřad před zahájením provozu bezpilotního letadla kromě situací, kdy:

- provozovatel bezpilotního systému je držitelem „LUC“ certifikátu s příslušným oprávněním umožňujícím mu provozovat bezpilotní systém v této kategorii,

- prohlášení provozovatele, kdy provozovatel poskytne hodnocení provozních rizik pro zamýšlenou činnost a způsob opatření k jejich zmírnění.

2.2.2 Technické požadavky

Pro všechny kategorie bezpilotních systémů je výrobce povinen přiložit k prodávanému bezpilotnímu systému informační dokumenty definované organizací EASA, jejichž účelem bude informování budoucího provozovatele, zejména jednotlivce o tom, co může a nesmí s bezpilotním letadlem provádět.

Dále v dokumentech bude uveden odkaz na webové stránky, kde bude možnost registrace, obdržení dalších dodatečných informací a možnost absolvování online výcviku, jak bezpečně bezpilotní systém provozovat.

V uživatelském manuálu budou muset být uvedeny následující informace: hmotnost bezpilotního systému, jeho MTOM, komunikační frekvence, hmotnost a rozměr nákladu, který lze uvést. A informace o tom, jak se bezpilotní letadlo zachová v případě ztráty kontrolního a datového spoje.

Pokud je provoz prováděn bezpilotním letadlem, které spadá do specifické kategorie a je provozováno na základě LUC certifikátu, provozovatel je povinen provádět záznam provozu bezpilotního letadla.

EASA navrhuje vytvořit několik typů tříd z hlediska technických požadavků pro bezpilotní systémy. Některé třídy budou mít povinnost vybavení bezpilotního letadla identifikačním systémem a systémem „geo-awareness“.

Elektronický identifikační systém (EIS) a systém „geo-awareness“

EASA navrhuje elektronický identifikační systém, kterým bude vybaven každý bezpilotní systém, tento systém bude vysílat následující informace:

- registrační číslo provozovatele,
- jedinečné identifikační číslo bezpilotního systému,
- aktuální geografickou polohu a výšku,
- geografickou polohu místa vzletu,
- čas, kdy byla následující data naměřena a odvysílána.

Dále nutnost vybavení systémem „geo-awareness“, který provozovateli poskytne:

- možnost uživatelského rozhraní pro nahrání aktuálních dat obsahujících informace o rozložení vzdušných prostorů a jejich omezení,
- varování v případě možného narušení omezeného prostoru,

- informaci o stavu, která poskytne automatické varování v případě, kdy navigační systém bezpilotního systému přestane správně fungovat.

Srovnání podkategorií A

Pro lepší přehlednost je zde uvedena tabulka 1, ve které jsou uvedeny požadavky (např. maximální vzletová hmotnost, povinnost registrace bezpilotního systému u národního leteckého úřadu) pro jednotlivé podkategorie bezpilotních systémů.

Tabulka 1: Požadavky jednotlivých podkategorií A. [6]

UAS podkategorie	Oblast provozu*	Povinnost pilota**	UAS třídy	MTOM	EIS/ Geo-awareness	Nutnost registrace UAS
A1	let nad lidmi umožněn, avšak ne nad shromážděním	přečíst leták	soukromá výroba	< 250 g	ne	ne
			C0			
		přečíst leták a vykonat on-line test	C1	< 900 g	ano + jedinečné SN číslo	ano
A2	v blízkosti lidí, ale v bezpečné vzdálenosti	přečíst leták, vykonat on-line test a teoretický test	C2	< 4 kg		
A3	lety ve značné vzdálenosti od lidí, udržení bezpečné vzdálenost od kritické infrastruktury	přečíst leták a vykonat on-line test	C3	< 25 kg	pouze pokud toto vyžaduje prostor provozu	
			C4			
			soukromá výroba			

* v dostatečné vzdálenosti od letiště v maximální výšce 120 m AGL

** letákem se rozumí uživatelská příručka, která bude součástí prodávaného bezpilotního letadla

2.2.3 Letové prostory

Každý letecký úřad členského státu bude mít možnost vytvářet nové omezující letové prostory pro bezpilotní systémy, kde provoz těchto bezpilotních letadel bude:

- zakázán nebo omezen,
- případně požadavky na provoz UAS mohou být zmírněny.

Prostor prvního typu je vhodný pro vytvoření na místech k tomu vhodných z důvodů bezpečnosti, ochrany soukromí nebo ochrany životního prostředí. Zatímco prostor druhého typu je pro odlišné použití, zejména pro usnadnění testování nových typů bezpilotních systémů nebo bude sloužit ke zmírnění provozního omezení bezpilotních systémů z důvodů činností v oblasti volného času – provozování rekreačních bezpilotních systémů.

2.2.4 Povinnosti provozovatele

Povinnosti se vztahují jak na pilota, tak i na ostatní personál spojený s provozem bezpilotního systému. Všechny osoby musí být kompetentní k provádění požadovaného úkolu podle provozních postupů provozovatele bezpilotního systému.

Všichni musí být seznámeni s platnou evropskou a národní legislativou, zejména se klade důraz na bezpečnost, ochranu soukromí, ochranu naměřených dat, odpovědnost, pojištění a ochranu životního prostředí.

Provozovatel je zodpovědný za to, že na bezpilotním letadle bude jasně viditelný štítek, definující technickou třídu daného letadla.

Provozovatel musí registrační údaje zobrazit na bezpilotním letadle a zajistit, že tyto informace budou vysílány elektronickým identifikačním systémem, pokud je jím bezpilotní systém vybaven.

2.2.5 Povinnosti pilota

Pilot musí být v dobrém fyzickém a mentálním stavu, který zaručí bezpečný provoz bezpilotního letadla. Musí být schopen kontrolovat bezpilotní letadlo, musí mít vhodné oprávnění té kategorie, do které jeho bezpilotní letadlo spadá.

Před zahájením letu musí pilot získat potřebné informace o různých omezeních nebo podmínkách provozu v dané oblasti, kde hodlá let uskutečnit a musí zkontrolovat bezpilotní letadlo, zda je schopno bezpečného letu.

Během letu musí pilot dodržovat nařízení té kategorie, do které jeho bezpilotní letadlo spadá. Dodržovat limity a omezení vůči ochranným prostorům, vůči ostatním objektům na zemi a ve vzduchu. Musí dodržovat stálý vizuální kontakt s bezpilotním letadlem a bezpečně se vyhýbat ostatnímu provozu, avšak pilotovi může asistovat pozorovatel, v tomto případě musí být zřízena efektivní komunikace mezi pilotem a pozorovatelem. Pilot nesmí letět do prostoru, ve kterém je vyhlášená nouzová situace, pokud k tomu nemá oprávnění od osoby zodpovědné za zásah. Pilot musí respektovat práva na ochranu osobních údajů, ochranu životního prostředí a provozovat bezpilotní letadlo ohleduplným způsobem, který minimalizuje obtěžování jiných osob nebo zvířat.

2.2.6 Shrnutí

Tento evropský návrh obsahuje sjednocení pravidel týkajících se provozu bezpilotních systémů v celé Evropské unii. Odstraňuje jednotlivé národnostní odchylky členských států a oproti českému předpisu vyžaduje u bezpilotních letadel elektronický identifikační systém, což je velmi důležité při případném zjišťování identity provozovatele bezpilotního letadla.

Česká legislativa rozděluje bezpilotní letadla podle jejich maximální vzletové hmotnosti, zatímco Evropský předpis upřednostní dělení bezpilotních letadel podle míry rizik, která mohou během provozu bezpilotních letadel nastat.

3 Druhy možných hrozeb

Bezpilotní systémy představují pro letiště vážnou bezpečnostní hrozbu a mohou být zneužívány i k protiprávním činnostem. Je třeba ale uvést, že pro bezpilotní systémy existuje i mnoho pozitivních užití. Nejdříve budou uvedeny příklady negativního použití bezpilotních systémů a posléze budou zmíněny příklady jejich pozitivního použití.

3.1 Negativní užití

Bezpilotní systémy mohou být použity i k protiprávním činům, mezi které patří:

Teroristický útok

Bezpilotní letadlo může být upraveno tak, že je schopno během letu nést a shazovat výbušniny. Rovněž může nést chemickou látku, kterou během letu rozpráší po okolí, čímž dojde k zamoření kritické infrastruktury nebezpečným materiálem. Dále zde můžeme zařadit nálet několika bezpilotních letadel s cílem poškodit infrastrukturu a vyhladit místní obyvatelstvo. Tento případ byl už realizován začátkem ledna roku 2018 Islámskými radikály v Sýrii, kteří použili skupinu 13 bezpilotních letadel vybavených satelitní navigací, barometrickým tlakovým senzorem a dálkově ovládaným zařízením ke shazování bomb na předem určených souřadnicích. Všechna bezpilotní letadla se nakonec podařilo úspěšně zneškodnit. Bezpilotní systémy využívá už i libanonský Hizballáh i palestinský Hamás. [7] [8] [9]

Pašování

Pašování materiálů do vymezených objektů nebo přes hranice suverénních států pomocí bezpilotních systémů není sice životu ohrožující problém, ale jde o protiprávní čin.

Tento případ už také nastal ve Velké Británii v prosinci roku 2017. Bylo prokázáno, že organizovaná skupina lidí pašovala dovnitř věznic drogy, telefony, SIM karty, zbraně a šroubováky. [10]

Průmyslová špionáž a pořizování kompromitujících fotografií

Toto téma reprezentuje ochranu soukromí, bezpilotní letadlo může být vybaveno kamerovým systémem, což obvykle ty rekreační splňují. Lidé mají bohužel sklon zneužívat technický pokrok, a proto tato bezpilotní letadla mohou využít, pokud se tak ještě nestalo, k pořizování průmyslové špionáže, vydírání a „tipování“ objektů pro trestnou činnost. [11]

Narušování vymezených vzdušných prostorů a prostorů letišť

Ať už úmyslně nebo neúmyslně nevyškolenými uživateli nebo uživateli nemajícími povědomí o tomto problému, může dojít k narušení vymezených vzdušných prostorů. Středisko pro studia bezpilotních letadel v americké Bardově univerzitě zaznamenalo od prosince 2013

do září 2015 v americkém vzdušném prostoru 921 případů, ve kterých bylo letící bezpilotní letadlo zaznamenáno v blízkosti letových tras civilních dopravních letounů. Ve 36 procentech existovalo možné nebezpečí srážky. Ve 28 případech piloti provedli úhybný manévr, aby se bezpilotnímu letadlu vyhnuli. [12]

Dle informací výrobce komplexního Anti-UAS řešení Hologarde (více v kapitole 4.3), nabízející integrovaný systém detekce bezpilotních systémů, dochází ke dvěma tisícům incidentů ročně. [1]

Tyto případy se dějí i u nás. Bylo prokázáno, že v roce 2017 v letních měsících došlo krátce po sobě, v rozmezí několika dní, k narušení řízeného prostoru CTR Ruzyně Letiště Václava Havla Praha. [13]

Jeden z posledních známých incidentů, kdy bezpilotní letadlo dálkově řízené ze země ohrozilo bezpečnost letu civilního letounu, se stal v únoru roku 2018 v Las Vegas. Bzpilotní letadlo se přiblížilo civilnímu dopravnímu letadlu na vzdálenost jen několika stop. [14]

Známý web The Aviation Herald seskupující různé incidenty po celém světě týkající se civilního letového provozu, eviduje ve své databázi několik desítek případů, ve kterých sehrálo roli bezpilotní letadlo. Za zmínku stojí např.:

- let AR-1865 dne 11. 11. 2017, kdy na konečném přiblížení na letišti v Buenos Aires, byl letoun zasažen bezpilotním letadlem ve výšce 220 ft AGL, [15] [16]
- let BE-6994 dne 19. 5. 2017, kdy pilot během konečného přiblížení v Edinburghu ve 4 000 ft spatřil bezpilotní letadlo a posádka byla nucena provést úhybný manévr, [17]
- let BA-727 se dne 17. 4. 2016 během konečného přiblížení v Londýně srazil s bezpilotním letadlem. [18]

3.2 Pozitivní užití

Bzpilotní systémy mají také řadu pozitivního využití v nejrůznějších oblastech lidské činnosti. Mezi běžnými lidmi obvykle plní funkci rekreační aktivity – hraní a létání pro zábavu, programování řídicí jednotky a pořizování videí a fotografií. Profesionálové využívají specializovaná bezpilotní letadla ke komerčnímu provozu, jejichž účel může být různý. V civilním sektoru mohou být bezpilotní systémy využívány v následujících oblastech: [19] [20]

Žurnalistika, natáčení a letecké fotografování

Využití u sportovních přenosů, ke sběru informací a záznamů pro zpravodajské vysílání. Např. v Rusku v roce 2014 během Olympijských her v Soči byly využity k pořizování záznamů během sjezdu na lyžích a snowboardu.

Doručování poštovních zásilek

V České republice toto legislativa zatím neumožňuje, ale světové společnosti jako Amazon, DHL a UPS vidí v tomto sektoru do budoucna velký potenciál.

Průzkumy při přírodních katastrofách

Bezpilotní letadlo umožňuje rychle získat informace o aktuálním stavu a situaci – při monitorování povodní, vyhledávání ohnisek požárů, prohledávání trosek, umožnění poskytnutí celkového pohledu na situaci.

Záchranné pátrací mise

Pomocí tepelných senzorů lze rychle lokalizovat polohu ztracených osob. Využívá se v noci nebo obvykle v těžko přístupném terénu. Vždy jde o čas, v budoucnu by bezpilotní letadlo mohlo být schopno dopravit na místo nehody vysílačku, GPS lokátor, zdravotnický materiál nebo vodu, dokud se k obětem nedostanou záchranáři.

Geografické mapování a geodetické účely

Bezpilotní letadlo je levnější na provoz ve srovnání s klasickými letouny a vrtulníky. Bezpilotní letadla se mohou použít kdekoliv a dokáží se jednoduše dostat i na těžko přístupná místa a naměřit potřebná data, ze kterých jde vytvořit 3D mapa terénu.

Inspekce strukturální bezpečnosti staveb

V aktuálním čase rychlá vizuální inspekce ke zjišťování poškození důležitých staveb – elektrického vedení, plynovodů, ropovodů, mostů, větrných turbín, solárních panelů a jiných důležitých staveb. Česká firma Primoco UAV SE představila certifikované a sériově vyráběné bezpilotní letadlo pro tyto účely. [21]

Zemědělské účely

K monitorování růstu plodin a snahy k dosažení maximální produkce.

Sledování volně žijících živočichů a pytláctví

Přítomnost bezpilotních letadel funguje jako odstrašující prostředek před pytláky. Kromě toho také bezpilotní letadla monitorují populaci ohrožených zvířat a sledují jejich chování, aniž by byl narušen život zvířat.

Zajištění bezpečnosti

Dalším z případů možného použití bezpilotních letadel je monitorování většího počtu osob v důsledku demonstrace nebo sportovního utkání, aby měly příslušné bezpečnostní složky informace o rozložení osob v davu. Monitorovat lze také prostředí v okolí soudů při soudním řízení s rizikovými pachateli, místa dopravních nehod většího rozsahu (řetězová havárie na dálnici) ke zjištění počtu zraněných osob, či zda nedochází k úniku nebezpečných látek. Pohraniční hlídky mohou využívat bezpilotní letadla ke sledování pašeráků drog a migrantů.

Meteorologické účely a monitorování životního prostředí

Posílání bezpilotních letadel vybavených specifickými senzory pro měření meteorologických parametrů do nitra hurikánů a tornád poskytuje cenné informace o těchto jevech, aniž bychom museli ohrozit lidskou posádku. Již několik let se k tomuto účelu používají meteorologické balóny.

Využití v letecké dopravě

Použití bezpilotních letadel může být pro leteckou společnost i přínosné. Mnoho leteckých společností využívá bezpilotní letadla pro inspekční kontrolu špatně dostupných částí letounů, jako např. ocasních ploch. Dále mohou např. hledat špatně dostupná místa, která zasáhl blesk. Provozovateli letišť mohou být používány k inspekční kontrole pojezdových a vzletových drah. [22]

Vojenský sektor

Využití bezpilotních systémů k průzkumu a mapování terénu a budov nebo k útoku na pozemní nebo vzdušné cíle. [20]

4 Analýza současných způsobů obrany a jejich aplikace

Abychom mohli bezpilotní systémy bezpečně eliminovat a snížili tak bezpečnostní riziko, které představují v blízkosti důležitých objektů – primárně řízených letišť, musíme je umět nejdříve spolehlivě detekovat a zjišťovat jejich polohu.

4.1 Detekce bezpilotních prostředků

V současné době se testují čtyři různé způsoby detekce bezpilotních systémů, kterými jsou:

- detektory hluku,
- detektory rádiového spektra,
- radarové zaměřování,
- termovizní kamera.

Každá z těchto technologií má své výhody a nevýhody a vhodnost jejího použití závisí na vnějším prostředí. [23]

4.1.1 Detektory hluku

Detektory hluku fungují na základě akustického principu díky soustavě mikrofónů. Mohou snadno detekovat nežádoucí objekt v okolí, např. tedy i bezpilotní letadlo. Problém nastává při použití v prostředí, kde je hluk běžnou záležitostí – konkrétně třeba letiště. Detektor hluku pak přijímá hluk ze všech směrů a nedokáže tak rozeznat nežádoucí bezpilotní letadlo narušující danou oblast.

Uplatnění tohoto způsobu detekce je možné jen v místech, která bývají v relativně tichém klidném prostředí, např. elektrárny nebo zámky.

Nizozemská firma Robin Radar Systems je schopna pomocí detektorů hluku rozlišit ptactvo od bezpilotního letadla a tyto produkty nabízí k prodeji. [24]

4.1.2 Detektory rádiového spektra

Detektory rádiového spektra fungují na principu skenování frekvenčního spektra. Každý bezpilotní systém vysílá signál na konkrétních frekvencích, ať už jde o bezpilotní letadla určená ke komerčnímu provozu, ke spotřebitelskému provozu nebo bezpilotní letadla vyrobená pro soukromé účely. Díky tomu můžeme detekovat datový protokol vysílaný mezi bezpilotním letadlem a vysílačem.

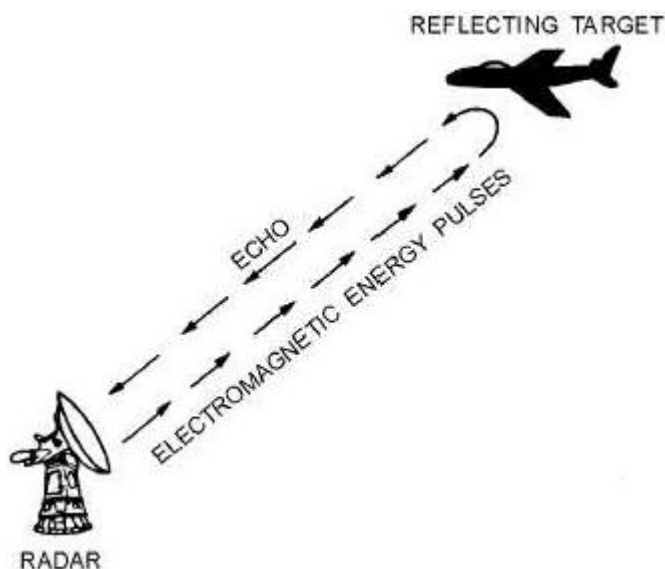
Bezpilotní letadla obvykle komunikují na frekvencích 2,4 GHz a 5 GHz. Při jejich detekování lze tedy jednoznačně vyloučit falešnou detekci a záměnu s jiným objektem, např. s ptactvem pohybujícím se po okolí, který žádný rádiový signál nevysílá.

Detektory jsou obvykle schopny zaznamenat bezpilotní letadlo ještě v době, kdy se nachází na zemi před vypuštěním do vzduchu. [25] [26]

4.1.3 Radarové zaměřování

RADAR je zařízení určené pro radiotechnické určování cíle – zjišťování vzdálenosti a polohových souřadnic vzhledem k poloze RADARu. Slovo RADAR je zkratkou z anglické věty „Radio Detection And Ranging“. Byl vyvinut během druhé světové války jako prostředek včasného varování před nepřátelskými letouny. Pro naše potřeby jej můžeme využít k zaměření bezpilotního letadla.

Principem radaru je směrová soustava vysílající energii v úzkém paprsku obvykle v krátkých impulsích a v dlouhých opakovacích intervalech. Pokud se ve vysílaném paprsku nachází zjišťovaný cíl, část energie se od zjišťovaného cíle odrazí zpět směrem k radaru. Vyhodnocením časového intervalu mezi vysláním impulsu a jeho následným příjmem se určí vzdálenost zjišťovaného cíle, jak je znázorněno na obrázku 5. Ostatní polohové souřadnice jsou zjišťovány z úhlu natočení antény radaru.



Obrázek 5 Princip radarového zaměřování. [27]

4.1.4 Termovizní kamera

Princip termokamery spočívá v tom, že každý předmět, který má teplotu vyšší než absolutní nula, což jsou prakticky všechny předměty ve známém vesmíru, vyzařuje elektromagnetické

záření. Termovizní kamera měří a vytváří obraz na základě povrchem tělesa emitovaného infračerveného záření.

Bezpilotní letadlo je tedy možné vyhledávat pomocí těchto kamer nejen ve dne, ale zejména za nízké dohlednosti, tedy v noci, v mlze, v dešti a jiných zhoršených meteorologických podmínkách. [28]

Jako příklad lze uvést rozlišení jednotlivých objektů (letoun, bezpilotní letadlo, pták) na základně rozdílné teploty jejich povrchu. Tělesná teplota ptáků se pohybuje mezi 38 až 44 °C. [29] Teplota výfukových plynů proudových motorů dopravních letounů se pohybuje kolem 600 °C.

4.2 Eliminace bezpilotních systémů

Pro eliminaci bezpilotního letadla je efektivní optimálně navržený Anti UAS systém (jednotlivé Anti-UAS systémy jsou rozepsány v následující kapitole 4.3), pro který jsou typické tyto vlastnosti:

- je multispektrální,
- obsahuje více různých prostředků detekce,
- obsahuje více různých prostředků eliminace.

Zneškodnění bezpilotního systému můžeme rozdělit na dvě kategorie:

- soft-kill eliminace,
- hard-kill eliminace.

Soft-kill eliminace

U tohoto způsobu eliminace se jedná především o rušení datové komunikace mezi bezpilotním letadlem a jeho vysílačem. V tomto případě se aktivuje funkce „fail-safe“ a bezpilotní letadlo se samo vrátí na původní místo vzletu, pokud je touto funkcí vybaveno nebo přistane v tom místě, kde se zrovna nachází. Avšak tento systém může být úmyslně vypnutý nebo bezpilotní letadlo může být přeprogramováno tak, aby v případě ztráty řídicího a datového spoje pokračovalo v programu a v letu.

Druhým způsobem je rušení signálu GNSS a tím znemožnění orientace bezpilotního letadla v prostoru. Bepilotní letadlo může být naprogramováno cílové souřadnice, na které směřuje, a ztráta signálu GNSS mu znemožní pokračování v cestě.

Třetí možností je zachycení bezpilotního letadla do sítě, která je nesena jiným bezpečnostním bezpilotním letadlem. Toto řešení má výhodu v tom, že zneškodněné bezpilotní letadlo bude uklizeno na bezpečné místo. [30] [31]

Hard-kill eliminace

Hard-kill eliminaci rozdělujeme na zničení bezpilotního letadla elektronicky nebo mechanicky.

Elektronický způsob eliminace se provádí směrovým elektromagnetickým impulzem a mechanický způsob eliminace je možné provést sestřelením bezpilotního letadla zbraňovým systémem nebo obalením bezpilotního letadla sítí, kterou vystřelí buď konkrétní zbraň, nebo jiné bezpilotní letadlo. Avšak toto řešení je nevýhodné v tom, že nežádoucí bezpilotní letadlo bude nuceno padat přímo pod sebe a k jeho dopadu může dojít na nevhodném místě, např. na aktivní dráhu letiště. Posledním možným řešením je nasazení takového bezpilotního letadla, které úmyslně způsobí kolizi s nežádoucím bezpilotním letadlem, avšak opět se zde vyskytuje stejný problém jako u obalení sítí, obě bezpilotní letadla mohou dopadnout na nevhodné místo. [23]

V Nizozemsku cvičí orly, kteří jsou schopni svými končetinami bezpilotní letadla zachytit a uklidit do bezpečí mimo oblast, kde došlo k narušení. V Japonsku navrhují taková bezpilotní letadla, jejichž úkolem není jenom jiné bezpilotní letadlo zneškodnit, ale také odklidit do bezpečné oblasti. Japonci testují a vytvářejí bezpilotní letadla nesoucí síť, kterou dokážou zasáhnout jiné bezpilotní letadlo a pak jej odvést do bezpečné oblasti. [32]

Shrnutí

Zde popsané Anti UAS systémy se zpravidla zaměřují pouze na soft-kill způsob eliminace bezpilotního letadla. Bohužel tento způsob v jistých případech nemusí být vždy dostatečný.

Účinný Anti UAS systém musí být schopen reagovat jak na ojedinělé a pravděpodobně nechtěné narušení řízeného prostoru CTR soukromým rekreačním bezpilotním letadlem, tak také musí být schopen vždy reagovat na cílený útok proti objektu, jež má chránit. Z toho vyplývá, že Anti UAS systém musí být bezpodmínečně vybaven kombinací soft-kill a hard-kill prostředky.

4.3 Analýza nabídky Anti-UAS systémů dostupných na trhu

Systém SkyWall

Systém SkyWall byl navržen britskou firmou OpenWorks Engennering. Jde o hard-kill eliminaci bezpilotních letadel mechanickou cestou – vystřelením sítě, která bezpilotní letadlo obalí a pomocí padáku jej snese k zemi bez toho, aniž by byl v okolí vyvolán jakýkoliv poplach nebo poškozen okolní majetek.

Mezi klíčové vlastnosti patří fyzické zachycení bezpilotního letadla, není kladen žádný důraz na elektronickou eliminační metodu. A tedy dopředu už lze předpokládat úspěšné

zneškodnění. Systém má přiměřenou odezvu a cíl je schopen zasáhnout na vzdálenost až 250 metrů. Pokud si to zákazník přeje, systém může být integrován do jejich stávajících systémů a fungovat zcela autonomně. Systém má velmi nízké riziko vedlejších škod.

Je nabízen ve dvou variantách – SkyWall100 a SkyWall300. Druhý zmiňovaný produkt je automatický systém vystřelující pomocí stlačeného vzduchu projektil se specificky navrženou sítí, do které se bezpilotnímu letadlu zapletou rotory nebo vrtule. Vystřelený projektil je navržen tak, aby jej z části bylo možné znovu použít a dosáhnout tak levnějšího provozu. Maximální dosah je 250 m. Tento systém může fungovat pouze jako eliminační prostředek, ale také může být vybaven detekčními prostředky a dokáže tak zajistit vysoce schopný a snadno ovladatelný nástroj proti bezpilotním letadlům. Jediný SkyWall300 dokáže chránit jen malou oblast, ale více těchto jednotek dokáže být propojeno navzájem a dokáží tak pokrýt rozlehlou oblast. SkyWall 300 může být umístěn nejenom na budovy, ale také může být umístěn i na vozidla.

Jsou dostupné tři typy projektilů, první typ SP01 je určen k výcvikovým účelům, druhý typ SP10 je již určen k normálnímu provozu, obsahuje dostatečně velkou vystřelovací síť. Poslední třetí typ projektilu SP40 navíc k síti implementuje padák, který brzdí pád zneškodněného cíle.

SkyWall100 je v podstatě ruční mobilní zbraň s dosahem zhruba 120 metrů. Tento systém byl úspěšně nasazen během návštěvy amerického prezidenta Baracka Obamy v Berlíně a ukázalo se, že je velice efektivní v městském prostředí a lze se s ním velice jednoduše pohybovat. SkyWall100 se dnes již běžně ve světě používá, obvykle je nasazován jako poslední linie obrany, pokud selžou veškeré další elektronické eliminační metody. SkyWall300 bude na trhu dostupný začátkem roku 2019.

OpenWorks Engeneering tvrdí: „Nejlepší cestou k neutralizaci dronu je jeho fyzické zachycení, takto lze neutralizovat jakýkoliv typ dronu, ať už řízeného ručně na dálku nebo autonomně. Systém dokáže být rychle nabíjen novými projektily, což umožní sestřelení více dronů jediným provozovatelem.“ [33]

Co se týče pořizovacích nákladů, SkyWall100 jako takový stojí zhruba 35 000 až 65 000 GBP, záleží na počtu objednaných kusů a poskytnuté množstevní slevě. Cena jednoho projektilu zahrnujícího síť a padák stojí od 1 400 GBP do 1 800 GBP. Samotná cena nové sítě a padáku stojí méně než 400 GBP, vystřelený projektil je možné znovu použít a ušetřit tak potřebné finanční prostředky. (Informace ohledně ceny byla získána e-mailovou komunikací – příloha 1.)

System Hologarde

Hologarde je jedinečné celosvětově dostupné integrované řešení kombinující tři způsoby detekce, poskytující identifikaci bezpilotního letadla a jeho sledování až na vzdálenost

5 kilometrů. Byl navržen a je nadále vyvíjen dvěma francouzskými společnostmi DSNA Services, která poskytuje odborné konzultace pod záštitou francouzského úřadu civilního letectví a Groupe ADP, jež je provozovatelem mezinárodních letišť v Paříži, ve spolupráci s dalšími společnostmi zabývajícími se touto problematikou.

Pro vyhledávání bezpilotních letadel se využívá holografický radar¹, detektory rádiového spektra a infračervená kamera s velkým dosahem. Tyto tři detektory jsou ovládány z řídicího střediska.

Holografický radar je schopen detekovat a sledovat bezpilotní prostředky o ploše velikosti jednoho čtverečního decimetru až na vzdálenost 5 kilometrů. Software tohoto radaru je speciálně navržen tak, aby sledoval pohyb zjišťovaných cílů a na základě preferencí vybíral ty konkrétní objekty, které si provozovatel přeje zobrazit na obrazovce.

Detektor rádiového spektra je schopen detekovat datový protokol výměny informací mezi bezpilotním letadlem a vysílačem. Při kombinaci s radarem skenováním rádiového spektra lze jednoznačně rozpoznat bezpilotní letadlo od ptactva.

Radar poskytuje souřadnice zjišťovaného cíle kameře s dlouhým dosahem, která je vybavena infračervenou technologií a umožňuje tak zaměřit a získat obraz zjišťovaného cíle i v noci a za nízké dohlednosti. Umožňuje tak poskytnutí vizuálního potvrzení, že zjišťovaný cíl je opravdu bezpilotní letadlo.

Řídicí centrum integruje tyto tři systémy, poskytuje uživatelské rozhraní speciálně na míru konkrétnímu uživateli – řídicím střediskům letového provozu, bezpečnostním složkám letiště, obecně jiným bezpečnostním složkám a dalším případným zájemcům.

Hologarde poskytuje systém, který umožňuje pokrýt malou i velkou oblast, je schopen systém přizpůsobit na míru konkrétnímu uživateli. Poprvé byl představen na 52. pařížském aerosalonu na letišti Le Bourget v roce 2017. Systém je nabízen nejen vojenskému a civilnímu sektoru, ale i jednotlivcům. [1] [34] [35]

Elvira

Systém Elvira je vyvíjen nizozemskou firmou Robin Radar Systems, která se prezentuje jako jedna z technologicky nejvyspělejších společností v oblasti sledování a klasifikování malých bezpilotních objektů. Byla založena v 80. letech minulého století jako projekt velmi respektovaného nizozemského výzkumného ústavu pro aplikované vědy (TNO). Projekt v originálním znění nesl název „Radar Observation of Bird INTensities“ z čehož vznikl název

¹ Holografický radar – radar bez mechanického pohybu sledující cíle v reálném čase v prostoru svého krytí.

ROBIN. Původním cílem bylo zabránění kolize mezi ptáky a letouny nizozemských vzdušných sil. V roce 2014 nizozemská vláda požádala o vytvoření bezpečného řešení vůči malým bezpilotním objektům. Robin Radar Systems vyhrál výběrové řízení a díky 30 letům zkušeností vědeckého výzkumu úspěšně vyvinul radar pro detekci bezpilotních letadel. Radar byl poprvé úspěšně otestován v červnu roku 2015 v Německu k ochraně Summitu G7.

Elvira je nabízena jako jediné cenově přijatelné řešení pro detekci bezpilotních letadel kombinující 360 stupňové pokrytí prostoru, rychlé sledování cílů a zejména automatické klasifikování bezpilotních letadel. Systém Elvira klade důraz nejenom na zjišťování velmi malých cílů, ale dokáže také rozpoznat, zda se jedná o ptactvo nebo opravdu o bezpilotní letadlo.

Sledování probíhá ve 2D zobrazení s aktualizací údajů o poloze cíle každých 1,3 sekundy se standardním dosahem na vzdálenost 5 kilometrů. Tento dosah se zvyšuje na vzdálenost 9 kilometrů pro větší cíle s pevnými křídly.

Systém je schopný poskytnout neomezené pokrytí díky kombinaci více radarových jednotek integrovaných do jedné senzorické sítě. Výstupem je jediný jednoznačný obrázek ve smyslu, že jedno bezpilotní letadlo vyvolá pouze jedno bezpečnostní varování. Nevzniká tak situace, že by přicházelo více matoucích varování z více radarů. Systém může být vybaven kamerou pro vizuální potvrzení. Uživateli je umožněno vytvořit si bezpečné zóny pro ty oblasti, kde nechce dostávat bezpečnostní varování zejména z důvodu provozu vlastních bezpilotních letadel.

Elvira byla také vytvořena tak, aby její pořizovací náklady byly za zlomek nákladů podobných vojenských systémů. Jde o jednoduchý a intuitivní systém pro použití, jak z hlediska hardwaru, tak z hlediska softwaru. Mapový podklad při radarovém zobrazování je standardně získáván z aplikace Google Earth a pro jednotlivé sledované cíle se používá různých barev. Červená trajektorie znázorňuje pohyb bezpilotních letadel, zelená barva reprezentuje pohyb ptáků a ostatních cílů. Vizualizace trajektorií cílů je zcela uživatelsky konfigurovatelná. Samozřejmě je zde možnost tento systém integrovat do stávajících bezpečnostních kontrolních a řídicích systémů. [24]

Z hlediska pořizovacích finančních nákladů jeden senzor radarové detekce včetně analytického softwaru a instalace stojí zhruba 180 000 EUR. (Tato informace byla získána z e-mailové komunikace – příloha 2.)

Systém Elvira oficiálně aktuálně působí na těchto letištích:

- v Amsterdamu ve Schipholu od roku 2013, kde monitoruje pohyb ptactva v okolí všech šesti vzletových a přistávacích drah do vzdálenosti 10 kilometrů od letiště,

- v Berlíně na letišti Brandenburg od roku 2016, kde opět probíhá monitorování pohybu ptactva kolem nově zřízené dráhy 07L/25R. [24]

Dedrone

Dedrone byl založen třemi německými podnikateli roku 2014 a aktuálně sídlí v San Francisku. Dedrone se spoléhá na detekci bezpilotních letadel čistě jen pomocí detekce rádiového spektra, navíc je vybaven kamerou. Dokáže detekovat také jejich vysílače. V ideálních podmínkách dokáže pokrýt oblast do vzdálenosti 1 852 metrů, což odpovídá jedné námořní míli.

Software, který zpracovává a vyhodnocuje informace o zjišťovaných cílech, je umístěn v cloudu². Díky tomu lze velmi rychle aktualizovat databáze nových typů bezpilotních letadel. Dedrone používá systém strojového učení, který na základě milionů obrázků v databázi dokáže rozlišit a klasifikovat různé typy bezpilotních letadel od ostatního pohybujícího provozu jako jsou letouny, vrtulníky a ptactvo.

Systém je kompatibilní s jinými radarovými technologiemi a je možné jej integrovat i do jiných bezpečnostních systémů, v tomto případě by Dedrone plnil úlohu detektoru rádiového spektra. Mezi zákazníky patří provozovatelé sportovních a veřejných událostí jako PGA Tour ve Phoenixu. Dále byl tento systém nasazen na globálním ekonomickém setkání ve Švýcarsku v letošním roce. Používá se v nápravných zařízeních kvůli zastavení pašování zboží. Během Olympijských her v Riu de Janeiru v Brazílii byl nasazen k ochraně soukromé rezidence, ve které se po dobu her zdržovala královská rodina Kataru. [25]

Systém Eagle.one

Jedná se o eliminační zařízení, které se vyvíjí na ČVUT v Praze na Fakultě elektrotechnické a spolupracuje se společností stojící za vývojem německého Dedronu. Ten v současné době umí lokalizovat bezpilotní letadlo, ale neumí jej zneškodnit. Eagle.one by měl tuto funkci splnit.

Eagle.one eliminuje bezpilotní letadla mechanickou cestou. Celý systém funguje na principu bezpilotního letadla „ochránce“, který chrání své teritorium. „Ochránce“ reaguje na výstražnou signalizaci ze systému Dedrone, dorazí do oblasti výskytu bezpilotního letadla „narušitele“, s pomocí svých palubních senzorů a umělé inteligence založené na neuronových sítích přesně lokalizuje polohu bezpilotního letadla „narušitele“ a potvrdí jeho existenci ve sledovaném prostoru. Řídící jednotka vyhodnotí nejvýhodnější polohu pro použití vystřelovací sítě pro bezpečný odchyt bezpilotního letadla „narušitele“. Po vystřelení a odchycení bezpilotního

² Cloudové úložiště – virtuální disk jehož data jsou uložena v datovém centru, které provozuje poskytovatel cloudové služby, data tedy nejsou fyzicky dostupná u klienta, ale přistupuje se k nim přes internet.

letadla se „ochránce“ vrací s odchyceným bezpilotním letadlem na bezpečné místo. V případě, že by „ochránce“ minul svůj cíl, může provést takový manévr, který způsobí kolizi s bezpilotním letadlem „narušitelem“ a srazí jej k zemi.

Celý tento systém je zcela autonomní. Vyvíjí jej tým Dr. Martina Sasky, který působí ve skupině multirobotických systémů na ČVUT FEL a cílem je vyvinutí plně autonomního systému, který integruje chytrá robotická bezpilotní letadla do detekčního zařízení DEDRONE. [30] [31]

Ardronis

Tento systém je vyvíjen německou společností Rohde & Schwarz se sídlem v Mnichově, která byla založena před 80 lety. Jde o jednu z technologicky nejvyspělejších společností na světě v oblasti informačních a komunikačních technologií pro profesionální použití.

Ardronis detekuje aktivitu bezpilotních letadel, automaticky rozpoznává druh signálu mezi bezpilotním letadlem a jeho vysílačem a je schopen určit směr, kde se bezpilotní letadlo nachází, včetně jeho vysílače. Systém je schopen rušit signál tak, aby zamezil bezpilotnímu letadlu dosáhnout svého cíle. Automaticky v případě detekce upozorňuje další příslušné bezpečnostní složky a nahrává radiokomunikační signál jako evidenční důkaz.

Systém obsahuje centrální zobrazovací jednotku, která získává data z mnoha vzdálených čidel, zobrazuje aktuální polohu zjišťovaného cíle a bezpečnostní síly tak mohou přijmout protipatření a mají možnost chytit pilota s vysílačem při nezákonném činu. Ardrónis zahrnuje senzory skenující rádiové spektrum s velmi citlivými anténami, které rozpoznávají radioinformační stopu signálu bezpilotního letadla a porovnávají ji s vlastní databází. Tento proces poskytuje spolehlivé a včasné varování před jakoukoliv hrozbou v pokrývaném prostoru.

Ardronis využívá integrovanou rušičku signálu, která ruší signál zjišťovaného cíle s minimálním negativním dopadem na okolní provoz využívající stejné frekvenční pásmo. Díky automatizovaným pracovním postupům jde o optimalizované řešení, které efektivně a spolehlivě detekuje, lokalizuje a narušuje signál vysílače v rámci několika sekund.

Mezi klíčové vlastnosti patří včasné varování, vyhledávání směru pozice zjišťovaného cíle, aktivní protipatření pomocí několika způsobů rušení, situační povědomí kolem sledovaného prostoru, automatická výstražná signalizace při detekci bezpilotního letadla, zachycení přenášeného obrazu z kamery na detekovaném bezpilotním letadle a otevřené rozhraní umožňující integraci tohoto řešení mezi další systémy. [26]

Discovair

Bezpilotní letadla mohou operovat v zalidněných oblastech, mohou být skrytá za překážkami, mohou se nacházet ve tmě nebo mlze mimo dosah radarů. Avšak stále budou v akustickém

dosahu. Squarhead Technology tedy vyvinul systém Discovair na základě 13 let zkušeností se směrovými akustickými senzory a pokročilým zpracováním signálu.

Squarhead využívá soustavu patentovaných mikrofonů. Pomocí velkého množství vzájemně propojených mikrofonů je systém schopen určit azimut a výšku zjišťovaného cíle v reálném čase do vzdálenosti až 500 metrů. Discovair umí detekovat i ty nejmenší a nejnižší bezpilotní letadla na trhu. Pomocí těchto akustických senzorů lze vytvořit modulární a přizpůsobitelné řešení na míru pro kohokoliv. Systém lze nainstalovat na malé mobilní pozemní jednotky a také s ním lze pokrýt velký prostor.

Uživatelské rozhraní je tvořeno tak, aby nevyžadovalo prakticky žádný zásah ze strany provozovatele. Systém zobrazuje mapu nebo satelitní snímek s chráněnou oblastí a v ní bezpilotní letadla narušující daný chráněný prostor. Je zde možnost toto řešení integrovat mezi další systémy. [36] [37]

AUDS

AUDS je zkratkou ze slov „Anti-UAV Defence System“ a jde o první integrovaný Anti UAS systém na světě. Byl vyvinut konsorciem britských firem v oblasti obrany za účelem vyřešení problémů vznikajících s rostoucím počtem provozu nových bezpilotních letadel. Toto řešení je schopno detekovat, sledovat a zneškodnit bezpilotní letadlo během 15 sekund do vzdálenosti 10 kilometrů.

AUDS detekuje bezpilotní letadla pomocí elektronického skenovacího mikro dopplerovského radaru vyvinutého společností Blighter Surveillance Systems, zjišťované cíle jsou sledovány použitím vysoce přesných infračervených kamer a pomocí softwaru pro rozpoznávání objektů vyvinutého společností Chess Dynamics. Systém umožňuje provozovateli převzít kontrolu nad bezpilotním letadlem a donutit jej k bezpečnému přistání nebo jej zneškodnit rušením rádiového signálu.

Jedná se o strategický systém navržený pro použití armádou, policií a dalšími vládními či nevládními agenturami pro ochranu kriticky důležité infrastruktury. Je standardně nabízen ve třech konfiguracích. V mobilní verzi, určený zejména k dočasné instalaci na střechách budov, systém je rozložitelný na jednotlivé části, které jsou jednoduše přenosné. K transportu je potřeba pouze dvou techniků a čas instalace zabere méně než jednu hodinu. Další konfigurace je určena zejména do míst, kde bude systém využíván pro dlouhodobější použití, jako jsou např. letecké základny. Poslední konfigurace je určena pro ta místa, kde bude AUDS umístěno trvale. [38] [39]

Jedna kompletní detekční jednotka s veškerým potřebným hardwarovým a softwarovým vybavením včetně řídicího centra stojí zhruba 1,2 milionu GBP. Informace byla získána e-mailovou komunikací, k nahlédnutí v příloze 4.

DroneGuard ELI-4030

Jedná se o izraelský kompaktní rozšiřitelný systém pro detekci a eliminaci bezpilotních letadel malých a středních rozměrů poskytující efektivní obranu s minimálním nežádoucím dopadem na vnější prostředí. Detekční vrstva je postavena na kompaktním radaru s elevačním krytím až do 60 stupňů, dosahem 10 až 20 kilometrů a elektro-optickém systému schopném detekovat, sledovat a identifikovat bezpilotní letadla. Pro eliminaci je systém vybaven rušičkou rádiového signálu, která dokáže způsobit změnu trajektorie letu bezpilotního letadla – přinucením jej vrátit se na původní místo vzletu, jeho vypnutí za letu nebo přímo převzetím jeho kontroly. Způsob vhodné eliminace je vybírán provozovatelem z řídicího a kontrolního centra. Toto centrum může být instalováno na tablet, ze kterého je pak možné kompletně ovládat celý systém. [40] [41]

Battelle DroneDefender

Jedná se v podstatě o ruční zbraň pro boj s malými bezpilotními letadly, která nevyžaduje žádný speciální výcvik, její použití je jednoduché. Byla vyvinuta americkou společností Battelle v již druhé verzi. Na vzdálenost 400 metrů dokáže rušit GNSS signál a signál vysílače. Umožňuje také přinutit zaměřené bezpilotní letadlo bezpečně přistát, aniž by došlo k jeho poškození anebo ho donutí vrátit se na místo vzletu. Na baterii dokáže pracovat nepřetržitě po dobu dvou hodin a celková váha je necelých 7 kg.

V současné době zařízení nebylo certifikováno americkými federálními úřady pro běžné občany. Může jej zatím využívat pouze vláda Spojených států amerických a její vládní agentury. [42] [43]

Jedna taková ruční zbraň stojí zhruba 25 000 USD, tato informace byla získána z e-mailové komunikace, k nahlédnutí v příloze 5.

Aplikace MAIA

Aplikace MAIA byla vyvinuta českou společností UpVision, je nabízena v nejjednodušší verzi zdarma a je dostupná pro systémy Android a iOS. Klade si za cíl zvýšit povědomí běžných hobby pilotů a seznámit je s pravidly pro provozování bezpilotních letadel.

V přehledné mapce zobrazuje bezletové zóny, na základně komunitních příspěvků doporučuje bezpečná místa k létání a umožňuje se navzájem zkontaktovat s ostatními piloty bezpilotních letadel. Umožňuje také elektronické vedení letového deníku – do aplikace je možné zadat

název události reprezentující daný let, uvést polohu, kde k letu došlo a doplnit přesný čas a datum, kdy se let uskutečnil. Všechny záznamy v elektronickém deníku je možné vyexportovat do souboru k dalšímu zpracování. Pokud si uživatel zaplatí vyšší verzi, všechna tato data jsou pak také přístupná z webového rozhraní.

V mapě jsou zobrazeny CTR a TMA prostory jednotlivých letišť v České republice, zakázané a dočasně vymezené prostory. V aplikaci si lze zobrazit aktuální informace dostupné ze systému AisView sloužící k předletové přípravě VFR letů. [44] [45] [46]

4.4 Závěr

V následující tabulce jsou uvedeny pro srovnání přibližné pořizovací ceny jednotlivých Anti-UAS systémů přepočtené na 1 metr čtvereční plochy, kterou pokrývají (pokrytou plochou se myslí kruh). Cena u systému SkyWall zahrnuje 30 projektilů SP40, což jsou ty nejvyspělejší projektily vybavené sítí a padákem. Informace ohledně ceny byly získány z e-mailové komunikace, přičemž zástupci společnosti Hologarde vůbec nereagovali na mé dotazy. Zástupci společnosti Discovair (příloha 3) cenovou nabídku sdělují pouze vážným zájemcům.

Tabulka 2: Srovnání technických parametrů a pořizovací ceny jednotlivých Anti-UAS. [vlastní zpracování]

Produkt	DroneDefender	SkyWall100*	DroneGuard	AUDS
Frekvenční rozsah	neuveďeno	-	neuveďeno	neuveďeno
Dosahované krytí	400 m	120 m	20 000 m	10 000 m
Požizovací cena	25 000 USD	110 000 GBP	neuveďeno	1 200 000 GBP
Cena za 1 m ²	0,049761 USD	2,432767 GBP	neuveďeno	0,003822 GBP
Cena za 1 m ² v CZK	1,102707 Kč**	69,236553 Kč**	neuveďeno	0,108764 Kč**

Produkt	Elvira	Ardronis	Dedrone	
Frekvenční rozsah	neuveďeno	20 Mhz až 6 Ghz	2,4 a 5,8 GHz	
Dosahované krytí	9 000 m	3 000 m	neuveďeno	
Požizovací cena	180 000 EUR	neuveďeno	neuveďeno	
Cena za 1 m ²	0,000708 EUR	neuveďeno	neuveďeno	
Cena za 1 m ² v CZK	0,018244 Kč**	neuveďeno	neuveďeno	

*SkyWall300 není ještě aktuálně v prodeji, s uvedením se počítá začátkem roku 2019, bude mít dosah 250 metrů. (Informace získána e-mailovou komunikací – příloha 1)

**Kurz použitý k přepočtu: 1 USD = 22,16 CZK, 1 GBP = 28,46 CZK, 1 EUR = 25,78 CZK

5 Teoretický návrh obrany konkrétního letiště

5.1 Charakteristika vybraného letiště

Pro návrh opatření ochrany konkrétního letiště před útoky bezpilotních letadel bylo vybráno Letiště Václava Havla Praha. Jedná se o moderní a prostorné civilní mezinárodní letiště umístěné na severozápadním okraji Prahy, v městské části Praha 6. Toto letiště bylo dříve známé jako Praha-Ruzyně a k jeho přejmenování na letiště Václava Havla došlo oficiálně v říjnu roku 2012.

Je jedním z nejrychleji rostoucích letišť v Evropě v kategorii 10 až 25 milionů odbavených cestujících. Ročně odbaví přes 15 milionů cestujících, kteří mají k dispozici nabídku téměř 70 leteckých společností spojujících Prahu přímou linkou s více než 160 destinacemi po celém světě. Operuje zde i 8 pravidelných cargo dopravců a další desítky společností pak zajišťují charterovou přepravu. Jako svoji bázi využívají Letiště Václava Havla Praha tři dopravci – České aerolinie, Travel Service a Ryanair. [47]

Pražské mezinárodní letiště je rozděleno na tzv. dvě části, staré a nové letiště. Ve staré části (jižní část) se nachází terminál pro VIP, soukromé lety, leteckou taxislužbu a lety všeobecného letectví (Terminal 3, zkratka T3), v nové části (severní část) pak terminály 1 a 2 (zkratka T1 a T2). Terminál 2 slouží pro lety ze zemí, které jsou členy schengenské dohody. Terminál 1 je určen pro lety ze zemí, které nejsou součástí schengenského prostoru. Celkem je u terminálu 1 a 2 dostupných 30 stojánek s odbavovacím nástupním mostem a 21 stojánek bez odbavovacího nástupního mostu. V sousedství je východní odbavovací plocha s dvěma nákladními cargo terminály.

Letiště je plně vybaveno pro lety VFR i IFR a umožňuje nepřetržitý provoz ve dne i v noci. Je plně koordinováno v rámci EUROCONTROLu v Bruselu z hlediska přidělovaných časů vzletů (tzv. slotů). V současné době Letiště Václava Havla Praha disponuje těmito vzletovými a přistávacími dráhami (VPD):

- RWY 06/24 (magnetický směr 061/241°, délka 3 715 m),
- RWY 12/30 (magnetický směr 123/303°, délka 3 250 m). [48]

RWY 04/22 se v současné době již několik let používá jen jako odstavná plocha. Ostatní VPD – 06/24 a 12/30 jsou vybaveny systémem ILS, tento systém poskytuje okamžité informace o poloze letounu vzhledem k referenční rovině, která je definována horizontální a vertikální složkou. RWY 24 je navíc vybavena CAT II/III ILS systémem umožňující provoz za nízké dohlednosti.

Současná kapacita dráhového systému přestala vyhovovat už v 90. letech, kdy nastalo nejbouřlivější rozvojové období v celé historii letiště. Letiště bylo nuceno přejít do kategorie plně koordinovaných letišť, tj. letišť, která nejsou dopravcům volně k dispozici, ale na která si pro každý let musí vyžádat tzv. letištní slot, tzn. přesný čas příletu i odletu. Současný problém s kapacitou dráhového systému může vyřešit jen vybudování nové paralelní vzletové a přistávací dráhy, tato paralelní dráha umožní další zvýšení kapacity dráhového systému.

Nová RWY nahradí dříve používanou RWY 04/22 a bude rovnoběžná se stávající RWY 06/24 ve vzdálenosti 1 525 m, aby byl umožněn nezávislý provoz na obou drahách. Díky tomu dojde ke zvýšení kapacity dráhového systému. Provoz na RWY 12/30 bude ukončen a tato dráha bude začleněna do systému pojezdových drah. Nová RWY bude mít rozměry 3550 × 60 m. Bude vybavena jako přístrojová dráha pro přesné přiblížení zařízením ILS CAT III B v obou směrech. Bude umožňovat přiblížení a přistání letadel i za nepříznivých meteorologických podmínek, respektive i za nulové viditelnosti bez manuálních zásahů posádky. Dráha bude navíc navržena tak, aby vyhovovala i letadlům Airbus A380 nebo Boeing B747.

Vybudováním nové dráhy dojde ke zlepšení životních podmínek obyvatel Prahy a Kladna v podobě zrušení provozu přes tyto hustě obydlené oblasti, protože přes ně vede prodloužená osa dnešní RWY 12/30, která přestane existovat a začlení se do systému pojezdových drah, jakmile bude nová paralelní dráha postavena.

Záměr postavit na pražském letišti paralelní dráhu ke stávající RWY 06/24 není žádnou novinkou. Už při stavbě současné RWY 06/24 v 60. letech se počítalo s tím, že v případě potřeby bude dráhový systém paralelní dráhou doplněn. Na počátku 70. let byla budoucí paralelní dráha zapracována do územně plánovací dokumentace. V současnosti probíhá výběrové řízení na zpracovatele dokumentace pro územní řízení a následné stavební povolení. Provoz na dvou souběžných drahách bude efektivnější, bezpečnější a šetrnější k životnímu prostředí. Bez další přistávací a vzletové dráhy nebude Letiště Václava Havla Praha v budoucnu schopné uspokojit rostoucí poptávku cestujících po letecké dopravě. [49]

5.2 Současný stav systému ochrany vybraného letiště proti bezpilotním letadlům

Ze současně platné legislativy vyplývá povinnost hlásit události spojené s bezpilotním letadlem všem provozovatelům těchto letadel evidovaných na ÚCL, s vydaným povolením k létání. Události v letovém provozu se dělí do čtyř kategorií:

- bez vlivu na bezpečnost,
- incident – mohlo by dojít k ohrožení bezpečnosti, ale nedošlo,
- vážný incident – k ohrožení bezpečnosti již došlo, ale nedošlo k nehodě,

- letecká nehoda. [50]

Dle ustanovení 17.1 Doplnku X – Bezpilotní systémy se za událost, kterou je nutné hlásit považuje letecká nehoda, incident nebo vážný incident.

5.2.1 Vybrané události související s narušením CTR LKPR

Nebezpečné situace, kdy bezpilotní letadla zkříží letové dráhy dopravních letadel, jsou na LKPR prozatím výjimečné. Většina majitelů bezpilotních letadel totiž ochranné pásmo v okolí pražského letiště dodržuje.

Od roku 2015 bylo na Letišti Václava Havla Praha evidováno šest hlášení v leteckém provozu, které souvisely s neoprávněným provozem bezpilotních letadel v CTR Ruzyně. Ohlášeny byly na základě vizuálního kontaktu posádkou přistávajících letounů, v jednom případě pracovníkem bezpečnostního oddělení Letiště Václava Havla Praha, který bezpilotní letadlo spatřil v okolí prostoru letiště. Ve třech případech si tyto události vyžádaly zásah orgánů řízení letového provozu i Policie ČR. I když nedošlo k bezprostřednímu ohrožení bezpečnosti provozu, pro letový provoz v CTR Ruzyně tyto události představovaly značné riziko. Rozeznat bezpilotní letadlo pilotem dopravního letounu za letu, a to ještě ve fázi vzletu nebo přistání, kdy pilot věnuje svou pozornost přístrojům, je velmi obtížné a snadno se může stát, že dojde k záměně bezpilotního letadla s jiným objektem.

1. událost

Dne 6. 5. 2016 bylo přijato oznámení o pohybu UA na finále RWY 12, cca 1,5 NM od prahu RWY bez udání výšky. [51]

2. událost

Dne 3. 9. 2017 pilot A319 zahraničního provozovatele ohlásil cca 2,2 NM od THR RWY 06 LKPR bezpilotní letadlo červené barvy, 30 cm velké, vpravo od osy cca 150 ft nad ACFT.

3. událost

Dne 12. 9. 2017 odpovědná osoba nahlásila a následně operačním důstojníkem ICP byla potvrzena aktivita bezpilotního letadla v blízkosti THR RWY 24 LKPR.

Ve všech uvedených případech vzniklou situaci řešili pracovníci ŘLP, kteří provedli mimořádnou koordinaci provozu několika letounů a převedli provoz na vedlejší dráhu, aby se letouny nepohybovaly v ohroženém prostoru. Např. při události z 6. 5. 2016 byla provedena koordinace těchto šesti letounů:

- linka CSA961 přilet – na přiblížení,
- linka LBZ301 přilet – na finále,
- linka CSA505 přilet – na přiblížení,

- linka DLH6HX přílet – v klesání,
- linka BEL2WB přílet – v klesání,
- linka TVS1200 odlet – rozjezd. [13]

S největší pravděpodobností šlo v uvedených případech o amatérské uživatele bezpilotních letadel, kteří buď neznali příslušné předpisy nebo je vědomě nerespektovali. Policii ČR se nepodařilo pachatele identifikovat. V souvislosti s rostoucím počtem používaných bezpilotních letadel a rozvojem nových technologií se dá očekávat, že počty neoprávněných narušení prostoru řízeného letiště budou přibývat.

V následující tabulce je uveden počet registrovaných bezpilotních letadel na Úřadu civilního letectví. Lze jasně pozorovat rostoucí tendenci a lze předpokládat, že ne všechna bezpilotní letadla jsou registrovaná. Informace byly získány z e-mailové komunikace (k nahlédnutí v příloze 6) s panem Ing. Viktorem Nathem, ředitelem odboru vnějších vztahů a speciálních činností, ÚCL.

Tabulka 3: Počet evidovaných UA na ÚCL v letech 2012 až 2018. [e-mailová komunikace]

Datum	1.3.2012	7.9.2012	13.2.2013	2.4.2014	31.10.2014
Počet	0	19	23	49	64
Datum	31.3.2015	16.9.2015	14.2.2016	8.8.2016	6.2.2017
Počet	89	166	242	327	412
Datum	24.8.2017	8.11.2017	8.1.2018	23.7.2018	
Počet	555	645	678	819	

K neoprávněnému narušení může dojít z nevědomosti, ale i záměrně. Velmi často se na řízených letištích setkáváme s narušivými 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 svou činností porušují pravidla létání. [52]

5.2.2 Systém ochrany proti bezpilotním letadlům na LKPR

Pro letiště představují bezpilotní letadla vážnou bezpečnostní hrozbu. Z pohledu řízení letového provozu je velmi důležitá ochrana letounů ve fázi jejich konečného přiblížení a po vzletu.

Výsledky některých studií a testů simulovaných srážek bezpilotních letadel 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 bezpilotním letadlem může mít vážné následky ohrožující bezpečnost letu. [52] [53] [54]

Na základě informací získaných během osobní konzultace s Ing. Sabinou Lajdovou z oddělení Bezpečnost - Strategie a správa bezpečnosti na Letišti Václava Havla Praha lze konstatovat, že letiště v současné době žádný detekční systém nepoužívá. Personál letiště monitoruje prostor letiště vizuálně a pomocí kamerových systémů.

V současné době probíhá v této oblasti spolupráce letiště s ČVUT Praha na vědeckém výzkumu, jehož závěry by měly ochránit letiště před narušením letového prostoru bezpilotními letadly. V oblasti detekce by v případě letiště byla ideální pokročilá analýza obrazu bezpečnostních kamer, jelikož letiště jich má velký počet. Kdyby byl obraz z nich automaticky vyhodnocován, nemuselo by bezpilotní letadla rozpoznávat lidské oko. [55]

Po detekci bezpilotního letadla nastává problém, jak se s tímto nechtěným „vetřelcem“ vypořádat. V zahraničí již úspěšně otestovali řadu možností, jak tuto situaci vyřešit. Od japonských stíhacích bezpilotních letadel, která bezpilotní letadlo dokáží zachytit do speciální sítě přes elektromagnetickou pušku, která dokáže narušit spojení mezi bezpilotním letadlem a vysílačkou, po metače sítí, do kterých se bezpilotním letadlům zamotají rotory a vrtule. S dalším zajímavým řešením přišli i nizozemští policisté a francouzská armáda, kteří k odlovu bezpilotních letadel trénují orly. [32] [55]

Účinnou obranu proti nechtěným bezpilotním letadlům komplikuje letišti platná legislativa, která neumožňuje jejich zneškodnění, jelikož by došlo ze strany letiště k trestnému činu poškození cizí věci. Celý problém je potřeba řešit přes policii. Vzhledem k tomu, že se bezpilotní letadla ve vzduchu pohybují velmi rychle a navíc mohou být ve značné vzdálenosti od těch, kdo je ovládají, je jejich dopadení pro policii velmi složité.

Podle mluvčího Řízení letového provozu, je před pořízením detekčních a „odchyťových“ zařízení potřeba nejdříve zvážit více aspektů, které souvisí s jejich provozem. Od vyškolení personálu, nastavení kritérií na vyhlášení zvýšeného rizika, až po situaci falešné detekce, která by mohla zbytečně narušit provoz letiště. Detekcí bezpilotního letadla celý problém jen začíná, zbývá poté dořešit otázky spojené s identifikací letu, jeho záměry, stanovení míry rizika, reakční dobu osoby odpovědné k zamezení protiprávního jednání i odpovědnosti za škody způsobené případnou eliminací bezpilotních letadel. [55]

5.3 Anti-UAS systémy používané na letištích v Evropě

V průběhu zpracování své bakalářské práce jsem oslovil prakticky všechna letiště hlavních měst v Evropě s dotazem, jakým způsobem se chrání před útoky bezpilotních letadel. Bohužel jsem dostal odpověď pouze od čtyř letišť. Všechny tyto informace jsou přístupné k nahlédnutí v přílohách 7, 8, 9 a 10.

V hlavním městě Estonska Tallinu se na letišti doposud s žádným takovým problémem nesetkali a poskytovatel letových navigačních služeb jako takový žádný Anti-UAS systém nepoužívá. (příloha 7)

V Římě se v dohledné době s žádnými incidenty nesetkali, zejména určitě ne během finální fáze přiblížení letounu. Z důvodu snížení tohoto rizika na minimální hodnotu upravili svou legislativu tak, že byla zavedena povinnost schvalování letů bezpilotními letadly v těch oblastech, které se nacházejí kolem letiště. (příloha 8)

V Nizozemsku již několikrát zaznamenali narušování řízených prostorů letišť, jak CTR, tak TMA. Místní řízení letového provozu spolu s místním ministerstvem obrany se touto problematikou zabývají a vyvíjejí vhodný Anti-UAS systém. (příloha 9)

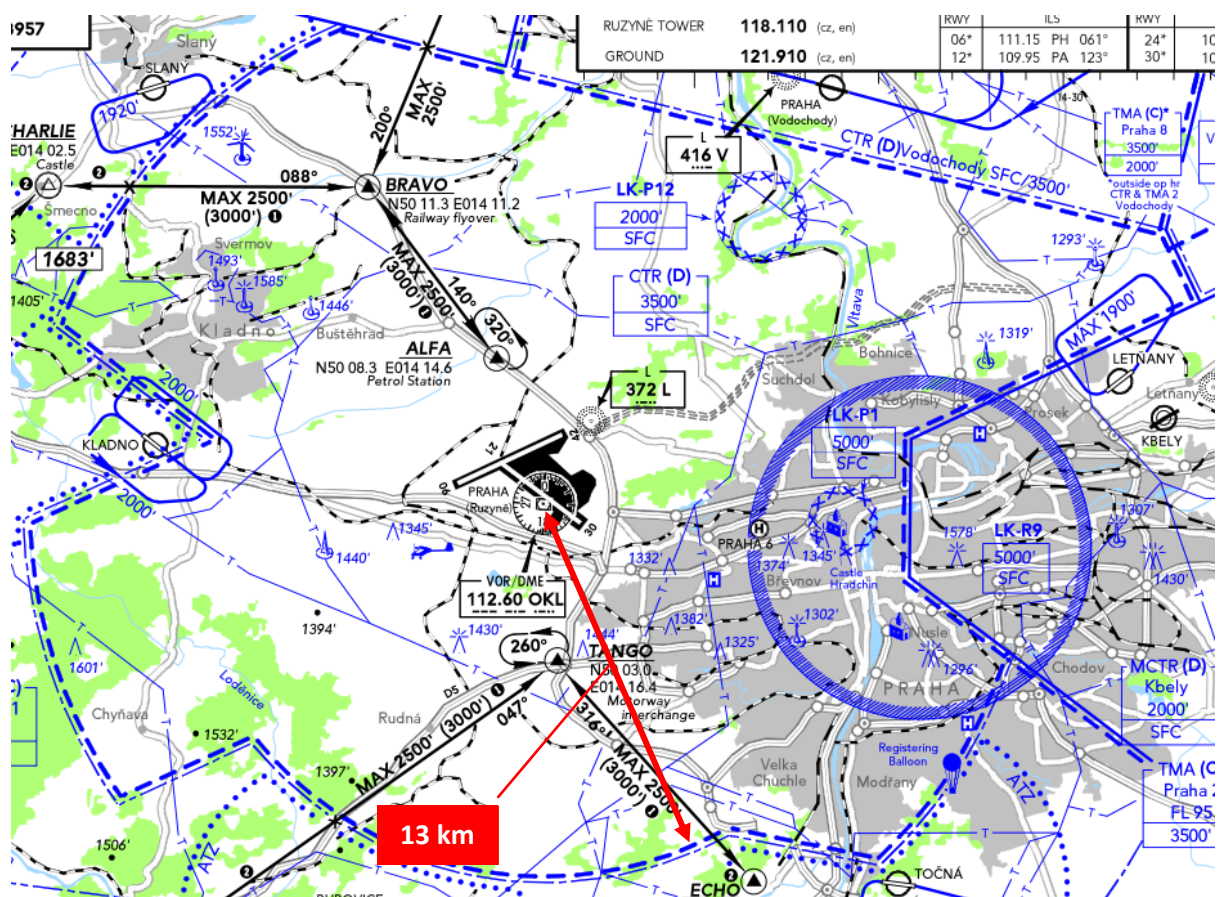
V Dánsku považují tuto informaci za interní věc a žádné další informace neposkytli. (příloha 10)

5.3.1 Návrh na detekci a eliminaci bezpilotních letadel na Letišti Václava Havla Praha

Ze současně nabízených Anti-UAS systémů pro detekci a eliminaci bezpilotních letadel, které jsou blíže popsány v kapitole 4.3, považují za nejvhodnější řešení pro Letiště Václava Havla Praha takový systém, který pro svou eliminaci bezpilotních letadel bude ideálně využívat jiný způsob než rádiové rušení frekvenčního pásma. Zejména z toho důvodu, že prakticky všechny letouny jsou během přiblížení závislé na radiokomunikačních technologiích, jejichž případné rušení by mohlo vážně ohrozit bezpečnost letu a způsobit katastrofální následky. Jmenovitě konvenční radionavigační systémy pro přesné přístrojové přiblížení ILS, pro nepřesné přístrojové přiblížení VOR a případně NDB.

S výhledem do budoucna se dá předpokládat, že dosud nejrozšířenější systém ILS, jehož provoz je z ekonomického hlediska náročný, bude postupně nahrazován GNSS přiblíženími, jejichž finanční provoz pro letiště je praktický nulový, vzhledem k tomu, že tento systém nevyžaduje de facto žádnou pozemní infrastrukturu přítomnou na letišti. Výjimkou je samozřejmě GBAS stanice, jejíž provoz je ale levnější než provoz ILS. GNSS signál je na rušení mnohem více náchylnější než signál konvenčních radionavigačních prostředků.

Pro ilustraci je zde přiložen obrázek 6 reprezentující horizontální hranice CTR Ruzyně. Hranice je značena modrou čárkovanou čarou, tento prostor je potřeba efektivně pokrýt, minimálně alespoň prostory, kterými vede přibližovací a vzletový sektor.

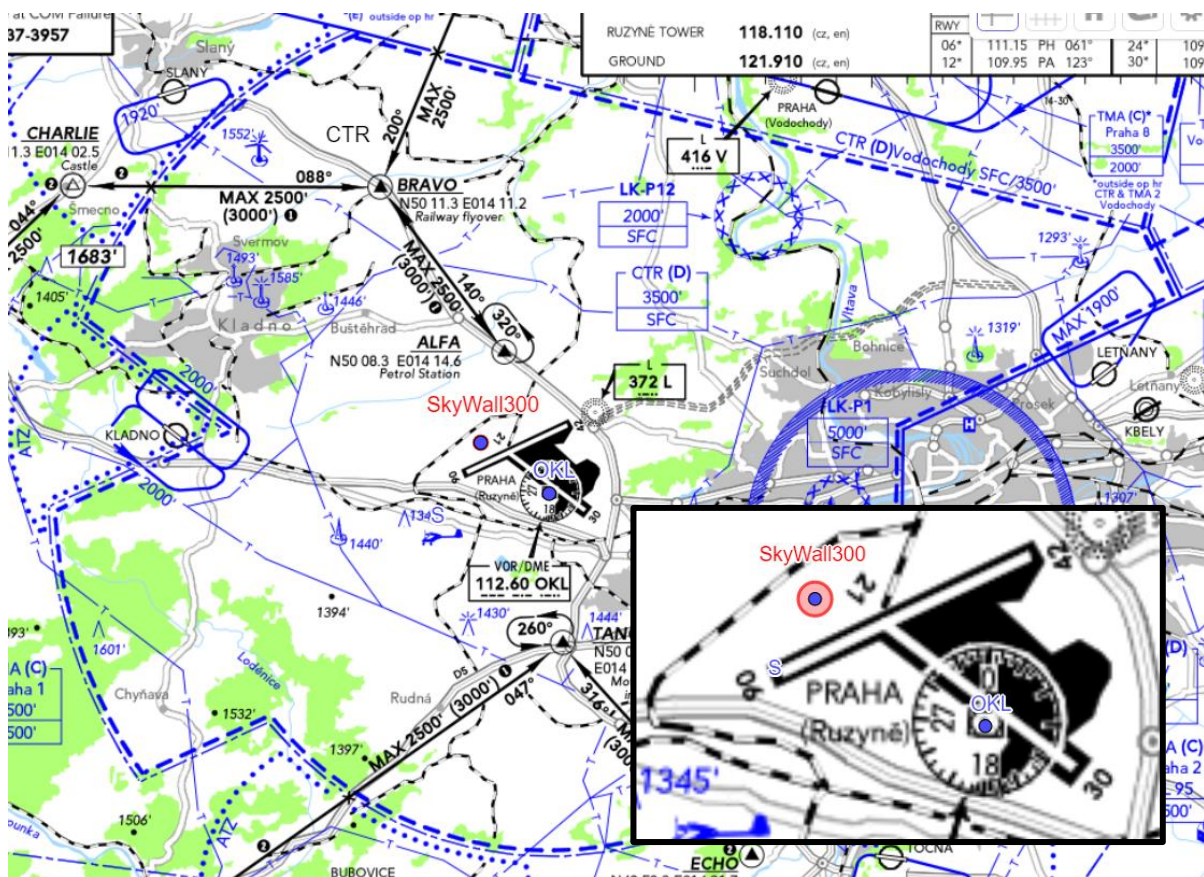


Obrázek 6 Horizontální hranice CTR Ruzyně. [56] [vlastní zpracování]

CTR obvykle tvoří kružnici kolem letiště se svým středem ve vztáhném bodě letiště. Navíc jsou zde výšeče ve směru používaných drah, které tento prostor ještě více rozšiřují.

Jediný dostupný technický prostředek pro mechanickou eliminaci aktuálně vyvíjí britská firma OpenWorks Engineering se svým produktem SkyWall300, avšak ten má limitující dosah zhruba 250 metrů, což je hodně málo. To by znamenalo, že zhruba na vzdálenost 13 kilometrů by bylo potřeba nainstalovat přibližně 50 jednotek SkyWall 300, které by tuto vzdálenost pokryly. Těchto jednotek by tedy muselo být výrazné množství pro pokrytí celého prostoru CTR. Každá jednotka by vyžadovala zdroj elektrické energie, který však mimo letištní infrastrukturu a obce v okolí není dostupný. Letiště samo o sobě má elektrickou infrastrukturu pouze v okolí terminálů, na vnějších okrajích pojezdových ploch směrem od terminálů nikoliv.

Na obrázku 7 je znázorněno červeným kruhem pokrytí systémem SkyWall300 v porovnání s prostorem CTR Ruzyně.

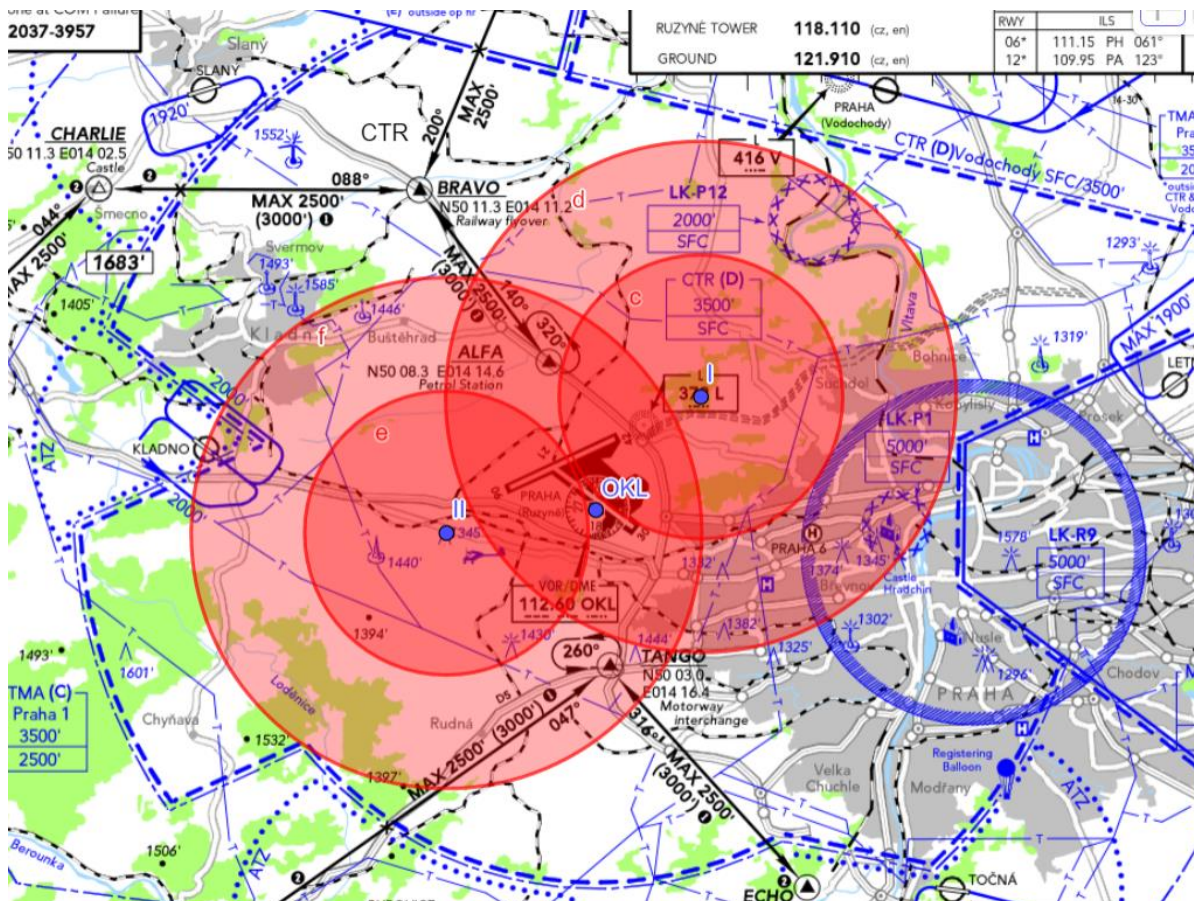


Obrázek 7 Pokrytí systémem SkyWall300. [56] [vlastní zpracování]

SkyWall300 se tedy nevyplatí zavádět na Letišti Václava Havla Praha. Žádný další vhodný mechanický systém eliminace dostupný není, pomíneme-li testování japonských bezpilotních letadel mající způsobit úmyslnou kolizi, speciální výcvik orlů v Nizozemsku, kteří mají bezpilotní letadla narušující prostor letiště zachytávat svými drápy nebo vývoj systému Eagle.one českých tvůrců. [30] [31] [32]

Zůstává tedy poslední možnost eliminace pomocí rádiového rušení signálu. Takových dostupných řešení je více. Jako nejvhodnější se jeví produkt Elvira od nizozemské společnosti Robin Radar Systems vzhledem k tomu, že má za sebou několikaletou zkušenost ve vývoji radarových systémů sledujících ptactvo a umí tak bezpečně a rychle rozlišit bezpilotní letadla od ptactva.

Garantují dosah 5 kilometrů nebo až 9 kilometrů s 360 stupňovým pokrytím prostoru. Pro efektivní pokrytí řízeného prostoru nám postačí dvě detekční jednotky, které pokryjí koridor vzletové a přistávací dráhy 06/24 a dostatečně zasahují i do prostoru koridorů vzletové a přistávací dráhy 12/30. Pokrytí tímto systémem lze vidět na následujícím přiloženém obrázku 8.



Obrázek 8 Pokrytí systémem Elvira. [56] [vlastní zpracování]

Vnitřní červený kruh znázorňuje pokrytí s poloměrem 5 kilometrů a vnější červený kruh zahrnuje pokrytí s poloměrem 9 kilometrů. První detekční jednotka I by byla umístěna mezi obcemi Horoměřice a Přední Kopanina před prahem dráhy 24 a druhá detekční jednotka II by byla umístěna v obci Jeneč před prahem dráhy 06. Elvira disponuje vším, co by letiště mohlo vyžadovat. Dokáže detekovat a klasifikovat malé cíle, které umí následně zneškodnit rušením rádiového signálu nebo poskytnout složkám řízení letového provozu informaci o tom, že v daném prostoru se nachází nebezpečný objekt a řízení letového provozu tak dokáže letoun bezpečně odklonit a zabránit tak případné srážce.

Elvira umožňuje definovat oblasti, ve kterých bude umožněn provoz bezpilotních letadel. Toto se všeobecně všem letištím může hodit, Letiště Václava Havla Praha předpokládá v budoucnu nasazení svých vlastních bezpilotních letadel, které by primárně sloužily k vizuální inspekci a stavu vzletových, přistávacích a pojezdových ploch. Letiště dále předpokládá, že v budoucnu si někteří letečtí dopravci v rámci bezpečnosti před přiletem svého vlastního letounu budou chtít svým vlastním bezpilotním letadlem prohlédnout prostor kolem letiště. Bude tedy nutné umět rozlišit a rozpoznávat vlastní „přátelská“ bezpilotní letadla a nevlastní „nepřátelská“ bezpilotní letadla. S tím by problém být neměl, vzhledem k tomu, že EASA v nové právní úpravě bude

vyžadovat elektronický identifikační systém povinně pro bezpilotní letadla mající hmotnost 900 gramů a více. Česká legislativa elektronický identifikační systém u všech bezpilotních letadel nevyžaduje.

Díky elektronickému identifikačnímu systému dokážeme pak snadno určit majitele a můžeme mu uložit patřičnou pokutu, aby se příště vyvaroval protiprávního jednání a nedocházelo tak k ohrožení bezpečnosti zúčastněných osob a poškození majetku v prostoru řízených letišť. Určitě by nebylo na škodu, kdyby byla legislativně zakotvena možnost, v případě narušení řízeného prostoru civilních letišť bezpilotním letadlem, beztrestného sestřelení tohoto bezpilotního letadla civilním subjektem nebo jeho eliminace způsobem adekvátním dané situaci bez jakéhokoliv postihu. Každý by měl nést důsledky za své činy. Cena jednoho bezpilotního letadla je rozhodně nižší než hodnota lidských životů na palubě letadla.

Přihlédneme-li k tomu, že v budoucnu Letiště Václava Havla Praha vystaví novou paralelní dráhu 06R/24L a přestane používat stávající druhou dráhu 12/30, změní se nám plocha ochranného prostoru CTR, který bude potřeba pokrýt. Ubydou výseče ve směru dráhy 12/30, které se zruší a z dráhy 12/30 se stane pojížděcí dráha a stávající výseče ve směru dráhy 06/24 se rozšíří, ale stále budou kryty oběma detekčními jednotkami systému Elvira.

6 Závěr

Neustále se zvyšující počet bezpilotních letadel ve vzdušném prostoru s sebou přináší mnohá rizika, která sahají od narušování soukromí až po vniknutí do prostoru řízeného letiště. S tím, jak roste počet těchto bezpilotních letadel v České republice, se zvyšuje pravděpodobnost střetu s jiným letounem. Následky případného střetu pak mohou být velice vážné. Mohou negativně ovlivnit letové vlastnosti letounu, jeho říditelnost, případně správnou funkci motoru. Riziko je nejzávažnější v případě dopravních letounů, kdy mohou být ohroženy životy mnoha cestujících. Ochrana letišť je tedy naprosto klíčová.

Bakalářská práce kromě úvodu a závěru obsahuje čtyři kapitoly. Druhá kapitola je zaměřena na současnou právní úpravu provozu bezpilotních systémů z pohledu České republiky. Tyto právní aspekty budou již postupně nahrazovány novým legislativním rámcem, který tvoří EASA a sjednocuje tak legislativu napříč všemi členskými státy Evropské unie. V této kapitole jsou uvedeny definice základních pojmů, rozdělení bezpilotních systémů, povinnosti pilota a provozovatele. Dále jsou zde charakterizovány vzdušné prostory, ve kterých smí být prováděn let bezpilotního letadla a pravidla související s provozem bezpilotních systémů.

Třetí kapitola vymezuje jednotlivé hrozby, které mohou být způsobeny nesprávným použitím bezpilotního letadla vůči civilním objektům – zejména letištím, kritickým stavbám, ale i lidem, ať už by se jednalo o úmyslný nebo neúmyslný čin. Avšak bezpilotní letadla nepředstavují jenom bezpečnostní riziko, ale lze je i využívat k pozitivním účelům, a proto z druhého pohledu jsou zde zmíněna i pozitiva při užívání bezpilotních systémů v různých oblastech jako např. letecký monitoring, využití pro mapování terénu, pro transport, průzkumné a záchranné práce.

Ve čtvrté kapitole je provedena analýza současných možností obrany letiště proti narušitelům řízeného prostoru v podobě bezpilotních systémů. Aby bylo možno bezpilotní systémy eliminovat, je nutné je spolehlivě detekovat a zjistit jejich polohu. V rámci této kapitoly jsou tedy popsány čtyři různé způsoby detekce bezpilotních systémů – detektory hluku, rádiového spektra, radarové zaměrování a užití termovizní kamery. Dále jsou zde uvedeny dva možné způsoby eliminace bezpilotních letadel – „hard-kill“ eliminace a „soft-kill“ eliminace. Součástí této kapitoly je i charakteristika jednotlivých Anti-UAS systémů dostupných na trhu a jejich vzájemné srovnání z pohledu vybraných parametrů.

Pátá kapitola obsahuje teoretický návrh obrany konkrétního letiště, kterým je největší mezinárodní letiště v České republice - Letiště Václava Havla Praha. V úvodu této kapitoly je provedena charakteristika vybraného letiště, jsou zde uvedeny vybrané události související s narušením prostoru CTR LKPR v posledních třech letech a popsán současný systém

ochrany letiště proti bezpilotním letadlům. V závěru této kapitoly je uveden teoretický návrh na detekci a eliminaci bezpilotních letadel na Letišti Václava Havla Praha.

V současné době je provoz bezpilotních letadel legislativně upraven. Je nutné dodržovat stanovený odstup od lidí i budov, je zakázáno se přibližovat ke strategickým místům, jako jsou např. jaderné elektrárny či letiště. Bylo by vhodné do aktuálně platné legislativy zakotvit ustanovení, které by umožnilo civilním subjektům (letišti) beztrestně eliminovat jakékoliv bezpilotní letadlo narušující jeho řízený prostor.

S postupujícím technologickým rozvojem lidské společnosti budou hrozby ze strany bezpilotních letadel narůstat. Problematika jejich detekce a eliminace bude stále důležitějším oborem nejen v oblasti letecké dopravy, ale i ve všech úrovních bezpečnostní situace státu.

Cíle bakalářské práce stanovené v úvodu byly splněny, jednotlivé hrozby byly vymezeny, byly analyzovány aktuálně dostupné a do budoucna se vyvíjející technologie obrany vůči bezpilotním systémům. Hlavním přínosem práce je provedení analýzy možných způsobů detekce bezpilotních systémů a jednotlivých Anti-UAS systémů dostupných na trhu. Výsledkem provedených analýz je teoretický návrh nejvhodnějšího opatření pro ochranu Letiště Václava Havla Praha před útokem bezpilotních leteckých systémů.

7 Použité zdroje

- [1] Hologarde Integrated Drone Defense Solution at Le Bourget 2017. In: *YouTube* [online]. 13.07.2017 [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <https://youtu.be/iN9AKzAk-n4>. Kanál uživatele DSNA Services.
- [2] KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4.
- [3] Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy. *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/prehled-zakladnich-pozadavku-na-bezpilotni-systemy>
- [4] Letecký předpis Pravidla létání L2 Doplněk X – Bezpilotní systémy. *Řízení letového provozu České republiky* [online]. [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [5] Co je to vzletová hmotnost bezpilotního letadla a maximální vzletová hmotnost bezpilotního letadla?. *Úřad pro civilní letectví* [online]. [cit. 2018-08-22]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/jak-se-urcuje-maximalni-hmotnost-bezpilotniho-letadla>
- [6] Opinion No 01/2018: Introduction of a regulatory framework for the operation of unmanned aircraft systems in the ‘open’ and ‘specific’ categories. *European Aviation Safety Agency* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2001-2018.pdf>
- [7] Drones that attacked Russian military bases in Syria could have been shipped only from U.S. - Russian senator (Part 2). *Interfax* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <http://www.interfax.com/newsinf.asp?id=802185>
- [8] Rusové se pomstili za útok na své základny v Sýrii. *Česká televize* [online]. Moskva, 2018 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/2360086-rusove-se-pomstili-za-utok-na-sve-zakladny-v-syrii>
- [9] Teroristický útok dronem je jen otázka času. *Echo24.cz* [online]. 2017 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/w4Adt/teroristicky-utok-dronem-je-jen-otazka-casu>
- [10] Ten sentenced for smuggling drugs into prisons by drones. *BBC* [online]. 2017 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-42341416>

- [11] Drony za pár tisíc nosí kamery. Unesou ale i malé bomby. *Echo24.cz* [online]. 2015 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/wwGaP/drony-za-par-tisic-nosi-kamery-unesou-ale-i-male-bomby>
- [12] IATA: Létá se bezpečně, budoucím rizikem jsou drony. *Hospodářské noviny* [online]. 2016 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-65165210-iata-leta-se-bezpecne-budoucim-rizikem-jsou-drony>
- [13] Bezpečnost v provozu bezpilotních systémů (UAS) ve vzdušném prostoru České republiky. *Ústav pro odborné zjišťování příčin leteckých nehod* [online]. 2017 [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://uavaliance.cz/wp-content/uploads/2017/09/prezentace-2.pdf>
- [14] ONLY ON 8: Drone flies within feet of arriving aircraft at McCarran. *LasVegasNOW* [online]. 2018 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://www.lasvegasnow.com/news/only-on-8-drone-flies-within-feet-of-arriving-aircraft-at-mccarran/949131909>
- [15] Incident: Argentinas B738 at Buenos Aires on Nov 11th 2017, drone strike. *The Aviation Herald* [online]. 2017 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4b0e37e6&opt=0>
- [16] Incident Boeing 737-887 (WL) LV-GKS, 11 Nov 2017. *Aviation Safety Network* [online]. 2017 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <https://aviation-safety.net/wikibase/wiki.php?id=201160>
- [17] Incident: Logan SF34 at Edinburgh on May 19th 2017, drone forces evasive maneuver. *The Aviation Herald* [online]. 2017 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4a969fd3&opt=0>
- [18] Incident: British Airways A320 at London on Apr 17th 2016, drone impacts aircraft. *The Aviation Herald* [online]. 2016 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4970605b&opt=0>
- [19] Top 12 non military uses for drones. *Air Drone Craze* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://airdronecraze.com/drones-action-top-12-non-military-uses/>
- [20] Komerční využívání dronů zažívá boom. Zároveň ale roste počet přestupků. *IROZHLAS* [online]. 2015 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie_technologie/komerčni-vyuzivani-dronu-zaziva-boom-zaroven-ale-roste-pocet-prestupku_201505030930_kwinklerova

- [21] VYUŽITÍ | PrimocoUAV - Unmanned Aerial Vehicle and Systems. *PrimocoUAV - Unmanned Aerial Vehicle and Systems*[online]. [cit. 2018-07-21]. Dostupné z: <https://www.uav-stol.com/cs-CZ/vyuziti>
- [22] EasyJet to roll out drone inspections from 2018. *Flight Global* [online]. 2017 [cit. 2018-07-21]. Dostupné z: <https://www.flightglobal.com/news/articles/easyjet-to-roll-out-drone-inspections-from-2018-441652/>
- [23] Vzdušné bezosádkové systémy - aktuální hrozba současnosti. *Řízení letového provozu* [online]. Praha, 2017 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <https://goo.gl/w9w61S>
- [24] *Robin Radar Systems* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://www.robinradar.com/markets/drone-detection/>
- [25] *Dedrone* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <https://www.dedrone.com/>
- [26] Countering RC drones – every second counts. *Rohde&Schwarz* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: https://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/ARDRONIS_bro_en_5214-7035-12_v0400.pdf
- [27] Basic radar concepts. *Integrated publishing* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <http://electriciantraining.tpub.com/14190/css/Basic-Radar-Concepts-14.htm>
- [28] MALÁ, Zuzana, Danuše NOVÁKOVÁ a Tomáš VÍTŮ. *Laboratorní cvičení z fyziky II*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03889-5.
- [29] JANSKÝ, Ladislav. *Fyziologie živočichů a člověka*. 2., přepr. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988.
- [30] Systém pro detekci a eliminaci dronů v zakázané oblasti. *SCIENCE mag* [online]. 2018 [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/system-pro-detekci-a-eliminaci-dronu-v-zakazane-oblasti/>
- [31] Jak zneškodnit drony. *Česká televize* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097181328-udalosti/218411000100726/video/634661>
- [32] Anti-Drone Eagles: Watch An Aerial Predator Trained To Take Down An Errant UAV [Video]. *INQUISITR* [online]. [cit. 2018-07-21]. Dostupné z: <http://www.inquisitr.com/2758689/anti-drone-eagles-watch-an-aerial-predator-trained-to-take-down-an-errant-uav-video/>

- [33] SkyWall capture drones - protect assets. *OpenWorks Engineering* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://openworksenineering.com/images/skywall/SkyWall-Brochure.pdf>
- [34] Intergrated Drone Defense Solution. *Hologarde* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: http://hologarde.com/wp-content/uploads/2017/07/Plaquette_Hologarde_Final-e.pdf
- [35] You need the best integrated drone defense solution. *Hologarde* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <http://hologarde.com/>
- [36] Discovair – rugged acoustic drone detection. *Squarehead* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <http://www.sqhead.com/drone-detection/>
- [37] Discovair drone detection & deterrence. *Squarehead* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <http://static1.1.sqspcdn.com/static/f/1431009/27748348/1510664011930/SQH+Discovair+G2+Product+Sheet+011117.pdf?token=pPcRqoD8pH%2FcFQrUQJ1Aujl1YVs%3D>
- [38] AUDS Anti-UAV Defence System. *Blighter Surveillance Systems* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <http://www.blighter.com/images/pdfs/brochures/auds-brochure.pdf>
- [39] AUDS Anti-UAV Defence System. *Blighter Surveillance Systems* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <http://www.blighter.com/images/pdfs/fact-sheets/auds-fact-sheet.pdf>
- [40] Drone Guard: drone detection, identification & disruption ELI-4030. *Israel Aerospace Industries* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: http://www.iai.co.il/Sip_Storage/FILES/9/42769.pdf
- [41] ELI-4030 - Drone Guard - Lightweight Drone Detection, Identification and Disruption System. *Israel Aerospace Industries* [online]. [cit. 2018-07-30]. Dostupné z: <http://www.iai.co.il/2013/36559-48450-en/ELTA%20-%20Systems%20by%20Product%20Lines.aspx>
- [42] Battelle DroneDefender® Counter-UAS Device. *Battelle* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://www.battelle.org/government-offerings/national-security/aerospace-systems/counter-UAS-technologies/dronedefender>
- [43] Battelle DroneDefender® V2 Counter-UAS Device. In: *YouTube* [online]. 18.09.2017 [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://youtu.be/gXNxoHMUdgw>. Kanál uživatele BattelleInnovations.

- [44] @online: Aplikace: MAIA. *Česká televize* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/10659215431-online/316281381880402/obsah/462785-aplikace-maia>
- [45] MAIA - Mobile App for Drone Pilots. In: *YouTube* [online]. 25.05.2016 [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://youtu.be/TK8U6BhkA4g>. Kanál uživatele MAIA UAV.
- [46] *MAIA keeps order in the sky traffic* [online]. [cit. 2018-07-22]. Dostupné z: <https://flymaia.com/>
- [47] Údaje o společnosti. *Letiště Praha* [online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/udaje-o-spolecnosti>
- [48] Letecká informační příručka. *Řízení letového provozu České republiky* [online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm
- [49] Paralelní dráha. *Letiště Praha* [online]. [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: <https://www.prg.aero/paralelni-draha>
- [50] Letecký předpis o odborném zjišťování příčin leteckých nehod a incidentů L 13. *Řízení letového provozu České republiky* [online]. [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-13/data/print/L13-cely.pdf>
- [51] Incident: Travel Service B738 at Prague on May 6th 2016, rejected takeoff due to drone sighting. *The Aviation Herald* [online]. 2016 [cit. 2018-08-25]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=498298a1&opt=0>
- [52] SEKYROVÁ, Kateřina. *Bezpečnostní aspekty provozu UAV v okolí řízených letišť*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní.
- [53] ASSURE UAS Airborne Collision Severity Evaluation Final Report. *ASSUREuas* [online]. [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://www.assureuas.org/projects/deliverables/sUASAirborneCollisionReport.php>
- [54] Small Remotely Piloted Aircraft Systems (Drones) Mid-Air Collision Study. *Świat Dronów* [online]. [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: <http://www.swiatdronow.pl/wp-content/uploads/2017/07/17-07-RPAS-collision-study-BALPA.pdf>
- [55] Drony jako hrozba. Letiště je zatím neumí rychle odhalit a zlikvidovat. *iDNES* [online]. 2017 [cit. 2018-07-23]. Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/drony-ohrozují-letadla-letiste-praha-je-neumi-zneskodnit-pmm-/domaci.aspx?c=A170913_150850_domaci_hell

[56] Mapová dokumentace Jeppesen LKPR. Englewood: JEPPESEN, 2017.

8 Seznam obrázků

- Obrázek 1: Přehled základních požadavků na bezpilotní systémy.
- Obrázek 2: Legenda vysvětlující prvky na obrázcích 3 a 4.
- Obrázek 3: Provoz v ATZ a prostorech třídy G a E.
- Obrázek 4: Provoz v CTR (případně MCTR), LKR/LKP/LKD/TRA/TSA.
- Obrázek 5: Princip radarového zaměření.
- Obrázek 6: Horizontální hranice CTR Ruzyně.
- Obrázek 7: Pokrytí systémem SkyWall300.
- Obrázek 8: Pokrytí systémem Elvira.

9 Seznam tabulek

- Tabulka 1: Požadavky jednotlivých podkategorií A.
- Tabulka 2: Srovnání technických parametrů a pořizovací ceny jednotlivých Anti-UAS.
- Tabulka 3: Počet evidovaných UA na ÚCL v letech 2012 až 2018.

10 Seznam příloh

- Příloha 1: E-mailová korespondence - James Cross, Director, OpenWorks Engineering,
- Příloha 2: E-mailová korespondence - Marek Šoltys, Redcap
- Příloha 3: E-mailová korespondence - Vibeke Jahr, COO & Founder, Squarhead Technology AS
- Příloha 4: E-mailová korespondence - Bob Tonkins, Sales & Support Manager, Blighter Surveillance Systems Limited
- Příloha 5: E-mailová korespondence - Keith Diederich, Commercial Sales & Marketing, Battelle
- Příloha 6: E-mailová korespondence - Ing. Viktor Nath, ředitelem Odboru vnějších vztahů a speciálních činností, Úřad pro civilní letectví
- Příloha 7: E-mailová korespondence - Almer Ellen, Deputy Chief of ATC, EANS
- Příloha 8: E-mailová korespondence - Mauro Anselmi, Air Navigation Service Directorate, Enav S.p.A.
- Příloha 9: E-mailová korespondence - Huib de Jong, Customer Relations & Communications, LVNL, KlachtenCoordinator@lvnl.nl
- Příloha 10: E-mailová korespondence - Jan Eliassen, Communications & Public Affairs, Naviair