



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Adéla Bačová

**NÁVRH OBRANY PROTI VNIKNUTÍ BEZPILOTNÍCH
PROSTŘEDKŮ NA LETIŠTĚ PRAHA - KBELY**

Bakalářská práce

2018



K621..... Ústav letecké dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Adéla Bačová

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – LED – Letecká doprava

Název tématu (česky): **Návrh obrany proti vniknutí bezpilotních prostředků na letišti Praha - Kbely**

Název tématu (anglicky): The Concept of Antidrone Defence at the Prague - Kbely Airport

Zásady pro vypracování

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

- Charakteristika a kategorizace bezpilotních prostředků
- Historie vývoje bezpilotních prostředků
- Rizika způsobená provozem bezpilotních prostředků
- Legislativa pro bezpečnost provozu
- Obranné technologie proti nezákonnému vniknutí
- Aplikace zabezpečení proti bezpilotním prostředkům na letišti Praha - Kbely



- 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: Předpis ICAO L2 Pravidla létání, Doplněk X
KARAS, Jakub a Tomáš TICHÝ. Drony. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4680-4
TOMIC, Teodor, Korbinian SCHMID, Philipp LUTZ, et al. Toward a Fully Autonomous UAV: Research Platform for Indoor and Outdoor Urban Search and Rescue. IEEE

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Stanislav Absolon**
Ing. Martin Novák, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: **28. října 2016**
(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.

Adéla Bačová
jméno a podpis studenta

V Praze dne 4. prosince 2017

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této bakalářské práce. Zvláště pak děkuji panu Ing. Stanislavu Absolonovi za odborné vedení a konzultování a za rady, které mi poskytoval po dobu její tvorby. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat rodičům a blízkým 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.

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

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

V Praze dne 22. 8. 2018



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ

NÁVRH OBRANY PROTI VNIKNUTÍ BEZPILOTNÍCH PROSTŘEDKŮ NA LETIŠTĚ
PRAHA – KBELY

bakalářská práce

srpen 2018

Adéla Bačová

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce „Návrh obrany proti vniknutí bezpilotních prostředků na letiště Praha – Kbely“ je popsat rizika způsobená provozem bezpilotních prostředků a analyzovat způsoby detekce a eliminace dronů a následně na základě předchozích poznatků navrhnout zabezpečení na uvedeném letišti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dron, bezpilotní prostředek, UAV, regulace dronů, rizika provozu, metody detekce, metody eliminace

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE
FACULTY OF TRANSPORTATION SCIENCES

THE CONCEPT OF ANTI-DRONE DEFENCE AT PRAGUE KBELY AIRPORT

Bachelor thesis

August 2018

Adéla Bačová

ABSTRACT

The subject of the bachelor thesis „The Concept of Antidrone Defence at the Prague - Kbely Airport“ is to describe risks caused by unmanned aerial vehicles and analyse drone detection and elimination methods and subsequently propose airport securing, based on these pieces of knowledge.

KEY WORDS

Drone, unmanned aerial vehicle, UAV, drones regulation, operational risks, detection methods, elimination methods

Obsah

Obsah.....	5
Seznam použitých zkratek.....	7
Úvod.....	9
1 Charakteristika a kategorizace bezpilotních prostředků.....	11
1.1 Charakteristika.....	11
1.2 Kategorizace.....	11
1.3 Využití bezpilotních prostředků.....	13
1.3.1 Využití v armádě ČR.....	13
1.4 Historie vývoje bezpilotních prostředků.....	15
2 Rizika způsobená provozem bezpilotních prostředků.....	17
2.1 Případy sblížení civilního letounu s bezpilotním prostředkem.....	17
2.2 Další možnosti nezákonného použití dronů.....	19
2.2.1 Terorismus.....	19
2.2.2 Narušování soukromí a špionáž.....	21
2.2.3 Pašeráctví.....	21
3 Legislativa pro bezpečnost provozu.....	22
3.1 Návrh EASA na vytvoření společných předpisů pro provoz dronů v Evropě.....	22
3.2 Doplněk X Předpis L2 - Bepilotní systémy.....	27
4 Technologie na obranu proti bezpilotním prostředkům.....	30
4.1 Detekce.....	30
4.1.1 Detekce radiolokátorem.....	30
4.1.2 Optické systémy.....	33
4.1.3 Akustické senzory.....	33
4.1.4 Kombinované systémy.....	34
4.2 Eliminace.....	35
4.2.1 Mechanická eliminace.....	36
4.2.2 Elektronické rušení.....	39
5 Aplikace zabezpečení proti bezpilotním prostředkům na letišti Praha Kbely.....	42
5.1 Letiště Kbely.....	42
5.2 Detekce.....	43

5.3 Eliminace.....	46
5.3.1 Postup v případě detekování nežádoucího dronu – běžný režim	47
5.3.2 Postup v případě detekování nežádoucího dronu – režim se zvýšenou ochranou	48
Závěr.....	49
Použitá literatura a internetové zdroje.....	52
Seznam obrázků.....	57
Seznam tabulek.....	58

Seznam použitých zkratek

AČR	Armáda České republiky
AUDS	Anti-UAV Defence Systém
CAA	Civil Aviation Authority
ČR	Česká Republika
DEA	Drug Enforcement Agency
EASA	European Aviation Safety Agency
EU	Evropská Unie
g	gram
GPS	Global Positioning System
ICAO	Mezinárodní organizace pro civilní letectví ICAO
IDS	Ingegneria Dei Sistemi S.p.A.
IFR	Instrument flight rules
kg	kilogram
m	metr
NATO	Severoatlantická aliance
OP	Ochranné pásmo
RWY	Runway
ŘLP	Řízení letového provozu
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
TODA	Take Off Distance Available
UA	Unmanned Aircraft
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UAS	Unmanned Aircraft System

USA	United States of America
USD	United States Dollar
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
VFR	Visual flight rules

Úvod

Bezpilotní vzdušné prostředky, nebo také drony, se stávají v civilním sektoru stále běžnější. Jsou dostupné v obchodní síti, jejich cena se snižuje a nacházejí uplatnění v různých odvětvích. Zjednodušují práci, jejich nasazení je rychlé a flexibilní a dají se používat v situacích, které by byly pro letoun s posádkou příliš nebezpečné.

Své uplatnění našly u policie, hasičů i záchranářů, ale i pro monitoring v zemědělství nebo v dopravě. V současné době se testuje i jejich využití pro dopravu zásilek. Staly se výbornými pomocníky pro prozkoumávání nedostupných míst. Pro amatéry jsou využitelné především pro zábavu a oblíbené je zejména pořizování leteckých fotografií a videí.

Rozšíření bezpilotních prostředků má ale i svou stinnou stránku. Jelikož už nejsou provozovány pouze armádou nebo policií, ale i amatéry, kteří často nejsou seznámeni, nebo ignorují základní bezpečnostní pravidla, mohou způsobit rizika v letecké dopravě. Mimo to se dají úmyslně zneužít například k terorismu, špionáži nebo pašeráctví.

Takových případů každý rok přibývá. Drony již několikrát ohrozily provoz v okolí letišť, kdy v lepším případě dopravní letouny musely vyčkávat nebo musely být odkloněny na jiné letiště a nabraly velké zpoždění. V tom horším případě byl dron zpozorován pilotem, který musel provést prudký úhybný manévr. Došlo už i ke srážce dronu s dopravním letadlem. Také bylo odhaleno několik případů pašeráctví pomocí bezpilotního prostředku, například přeprava drog a zbraní přes hranice nebo do věznic.

Cílem práce je seznámit čtenáře s riziky, která mohou být způsobena provozem bezpilotních prostředků a možnostmi jejich zneužití. Dále shrnout, jak je jejich provoz v současnosti regulován českou legislativou a představit návrh EASA, kterým by mohla být sjednocena legislativa pro členské státy EU. Hlavním cílem je představit různé způsoby, jak odhalit nežádoucí dron a jak ho zneškodnit, a navrhnout, který systém detekce a eliminace by mohl být aplikován na Letišti Praha Kbely.

V první kapitole této práce se budu zabývat charakteristikou bezpilotních prostředků, jejich kategorizací podle různých kritérií a stručnou historií. Dále popíšu široké možnosti jejich využití. V následující kapitole rozeberu, jaké riziko představují bezpilotní prostředky, pokud jsou provozovány v blízkosti letiště a uvedu několik konkrétních případů, kdy jimi byla ohrožena letecká doprava. Zároveň zmíním i jiné způsoby jejich nezákonného využití, například terorismus nebo pašeráctví. Ve třetí kapitole se budu věnovat předpisům platným v České republice, které se vztahují na provoz bezpilotních prostředků, a návrhu EASA na společnou legislativu v Evropské Unii, který by mohl být přijat koncem roku 2018. Čtvrtou

kapitolu zaměřím na různé druhy systémů detekce a eliminace nežádoucích dronů. V poslední páté kapitole navrhnou, který způsob ochrany proti bezpilotním prostředkům by byl vhodný na vojenském letišti v Praze ve Kbelích.

1 Charakteristika a kategorizace bezpilotních prostředků

1.1 Charakteristika

Bezpilotní vzdušné prostředky jsou letadla bez pilota na palubě, jsou ovládána pilotem manuálně na dálku, nebo mohou létat automaticky podle předem naprogramovaných letových plánů.

Často používané označení dron není úplně správné. Vychází z anglického slova „drone“ – bzučet, hučet. Je rozšířené především díky sdělovacím prostředkům, setkáváme se s ním v internetových obchodech, diskuzích a sci-fi filmech. [1]

Dříve bylo používáno zejména pojmenování UAV (Unmanned Aerial Vehicle), to už ale začíná být zastaralé. V mezinárodních normách i například české armádě se začínají přiklánět k termínu UA (Unmanned Aircraft), který zahrnuje všechna bezpilotní letadla, tedy letouny i multikoptéry.

Můžeme se setkat i s termíny RPA (Remotely Piloted Aircraft) nebo RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). Ty jsou používány v amerických ozbrojených silách a odráží skutečnost, že bezpilotní prostředky jsou řízeny na dálku.

Ve většině případů je však správnější používat označení UAS (Unmanned Aircraft System), které zahrnuje nejen samotný letoun, ale i další prvky nezbytné k provedení letu. UAS se skládá z bezpilotního prostředku, ovládacího zařízení na zemi a komunikačního systému mezi nimi, případně i dalších prvků. [2]

1.2 Kategorizace

Bezpilotní prostředky lze dělit podle mnoha kritérií. Základní rozdělení je na bezpilotní prostředky **komerční** (civilní) a **vojenské**. Dále je můžeme členit podle způsobu ovládání, zaměření, typu nosné plochy, maximální vzletové hmotnosti, účelu použití, pohonu (baterie/spalovací), podle počtu motorů, dostupové výšky a vzdálenosti, nosnosti, atd.

Podle způsobu ovládání:

Autonomní

Manuální

Automatický

Autonomní bezpilotní prostředky neumožňují zásah pilota do řízení během celého letu. Jsou naprogramovány předem a jsou schopné provést celý let zcela samostatně.

Na rozdíl od manuálně řízeného dronu, který je plnohodnotně ovládán pilotem po celou dobu letu.

Dále je možno použít režim automatického letu, kdy dron letí samostatně, ale je kdykoliv možné změnit směr jeho letu, přistát atd.

Podle zaměření:

Běžní uživatelé

Pokročilí uživatelé

Profesionálové

Drony určené pro profesionály se liší velikostí, hmotností, materiálem, cenou. Bývají v provozu mnohem častěji než drony pro běžné uživatele, musí být spolehlivější, většinou jsou ovládány dvěma osobami – pilotem a operátorem.

Pokročilí uživatelé často využívají některé funkce profesionálních dronů, a naopak i pro některé profesionály jsou výstupy z těchto kvalitních dronů dostačující a cenově výhodnější.

Podle typu nosné plochy:

S rotující nosnou plochou (multikoptéry)

S pevnou nosnou plochou (letouny, křídla)

Multikoptéra se vyznačuje kolmým vzletem i přistáním a různým počtem vrtulí. Nejčastěji se vyskytují kvadrokoptéry nebo hexakoptéry. Výhodou je, že k jejich vzletu nebo přistání je potřeba minimální prostor. U letounů se vzlet musí provádět z odpalovací rampy, hodem rukou nebo rozjezdem po vzletové dráze. Nevýhodou multikoptér oproti letounům je jejich kratší doba letu, což je způsobeno jejich větší náročností na spotřebu elektrické energie a potažmo hmotností. [1]

Podle maximální vzletové hmotnosti

Do 0,91 kg

Od 0,91 kg do 7 kg

Od 7 kg do 25 kg [3]

Nad 25 kg

Podle účelu použití

Rekreačně sportovní

Výdělečné, experimentální, výzkumné [3]

1.3 Využití bezpilotních prostředků

Hlavní výhody využívání bezpilotních prostředků plynou z jejich malé velikosti a jednoduchého ovládání. Oproti pilotovaným prostředkům je jejich provoz výrazně levnější, snadněji se přenáší, mohou přistávat nebo vzlétat na špatně dostupných i nebezpečných místech. Mohou nést kamery a fotoaparáty a pořizovat kvalitní snímky nebo přenášet záběry v přímém přenosu. Další výhodou je nízká hluchnost a možnost použití v interiéru.

Drony zjednodušují práci mnohým odborníkům a jejich výstupy jsou často kvalitnější než při využití pilotovaných prostředků. Jejich nasazení je rychlé a flexibilní a dají se použít i v situacích, které by představovaly pro letadlo s posádkou příliš velké riziko.

V doletové vzdálenosti a letovém času však běžné bezpilotní prostředky stále výrazně zaostávají. Mezi nevýhody také patří nejednotná legislativa v různých zemích, a to i v rámci Evropy. V EU teprve vzniká návrh na sjednocení pravidel využívání dronů.

Bezpilotní prostředky mají velký potenciál a stále se vyvíjejí. V posledních letech začaly být velice populární a používají se v mnoha oblastech. Například v zemědělství pro postřik hnojiv, sledování a sběr dat o počasí, monitoring plodin, ale i v dopravě pro získávání informací o dopravní situaci nebo k prozkoumávání těžko dostupných míst v přírodě, stavebnictví a podobně. S jejich pomocí získáváme letecké snímky pro zábavu i pro pracovní využití. Poslední dobou se testují pro transport zásilek. [4]

Z hlediska bezpečnosti může být využití bezpilotních prostředků kontroverzní. V práci je využívá policie, záchranáři i hasiči a jsou tak významnou pomůckou v oblasti bezpečnosti. Na druhou stranu ale představují i velké bezpečnostní riziko. Získané informace mohou být důvěrné a s neodborným nakládáním může dojít k jejich zneužití.

1.3.1 Využití v armádě ČR

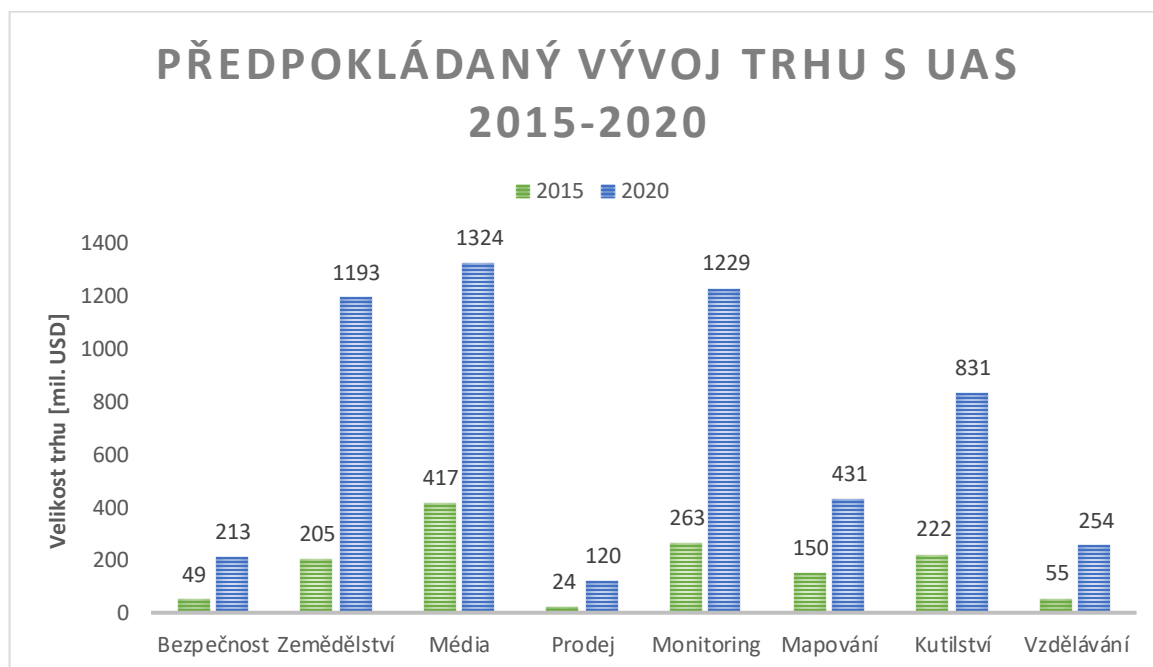
Dříve byly UAS využívány téměř výhradně ve vojenství. Teprve před pár lety byl objeven jejich potenciál pro využití v civilním sektoru.

Armáda České republiky využívá bezpilotní systémy nižších hmotnostních kategorií převážně ke vzdušnému průzkumu. První bezpilotní stroj byl zaveden už v roce 1985 v tehdejší československé armádě. V roce 1995 se dostal do výzbroje český UAS Sojka III, ten ale vyžadoval velké pozemní logistické zabezpečení a byl tak v roce 2010 vyřazen bez náhrady.

K průzkumným účelům se dnes používá systém Raven, který se skládá ze tří letounů. Letouny mají hmotnost pouze 1,9 kg, rozpětí 1,4 m a vzlet se provádí hodem z ruky. Celý let lze buď předem naprogramovat, nebo ho řídit manuálně. Jeho průzkumné vybavení obsahuje dvě denní kamery, termovizní kameru, laserový značkováč a GPS. Dalším využívaným systémem je Skylark I-LE, který je také tvořen třemi letouny. Ty jsou těžší, váží 6,5 kg a rozpětí křídel je 2,9 metru. Ve vzduchu vydrží až tři hodiny, což je dvakrát déle než Raven. Nepozorovaný průzkum jde uskutečnit s UAS Wasp AE, který je s hmotností 1,3 kg nejmenším bezpilotním systémem v AČR. Je poháněn velmi tichým elektrickým motorem a jeho vytrvalost je zhruba 50 minut. Nejvýkonnějším UAS je ScanEagle. K jeho vzletu je používáno mobilní pneumtické zařízení, má vzletovou hmotnost 22 kg a rozpětí křídla 3,1 m. Jeho dosah 100 km několikanásobně převyšuje předchozí systémy.

V blízké budoucnosti má AČR v plánu rozšířit výzbroj o víceúčelové systémy, např. malé jednorázové UA, které mohou zajišťovat průzkum a v případě potřeby je lze navést na pozemní cíl, který zničí jejich explozivní část. V roce 2020 budou pořízeny první multikoptéry se schopností kolmého vzletu a přistání. [2]

Graf 1 Vyhlídky na vývoj trhu s drony 2015-2020 [26]



1.4 Historie vývoje bezpilotních prostředků

Za první využití bezpilotních prostředků se dá považovat událost z roku 1849, kdy bylo vypuštěno několik balónů s výbušninou z rakouské lodi Vulcano, kterými byly napadeny italské Benátky. [5]

Dále byly bezpilotní prostředky používány během první světové války, jednalo se převážně o terče pro nácvik palby nebo dálkově řízené bomby. Od roku 1916 se vyráběly rádiem řízené prostředky s názvem Aerial Target. Byly používány především proti vzducholodím. Také byl vyvíjen projekt Hewitt-Sperry Automatic Airplane – dálkově ovládané bezpilotní letadlo, které dokázalo letět až s 445 kilogramy nálože. Přezdívalo se mu „flying bomb“ a byl to předchůdce dnešních střel s plochou dráhou letu. [8]

V roce 1935 bylo v Anglii vyvinuto rádiově ovládané letadlo Queen Bee. Tento bezpilotní prostředek mohl létat rychlostí více než 100 mil za hodinu a uletěl až 300 mil. [6]

Širší uplatnění našly bezpilotní prostředky až ve druhé světové válce, kdy byly využívány zejména k výcvikovým účelům. Spojené státy americké využívaly letouny B-17 konstrukčně upravené na bezpilotní letouny k bombardování ponorkových základen. [7]

Vývoj dronů výrazně postoupil během války ve Vietnamu. Americké letectvo využívalo letoun Ryan Q-2 Firebee, poháněný malým proudovým motorem, od roku 1964. Vzniklo přes dvacet různých variant určených pro různé výšky a rozmanité vybavení. [7]

V té době začal s vývojem bezpilotních prostředků i Sovětský svaz. Mezi prvními byl zařazen do výzbroje dálkově řízený terč Lavočkin La-17. V 60. letech byl vyvinut nadzvukový Tu-123 Jastreb. [7]

Vůdčí postavení ve vývoji bezpilotních letounů má Izrael. Jeho armáda zařadila jako první tyto letouny do své výzbroje. Velkého využití se dočkaly při nasazení v Libanonu v roce 1982 zejména průzkumné drony Mazlat Mastiff a Scout, dále také bezpilotní návnady Sampson, na které Syřané vypustili většinu svých raket a letecké síly Izraele tak neutrpěly žádné ztráty. Izraelské taktické bezpilotní letouny, které se používají přímo na bojišti, využívá i americká armáda. Příkladem je RQ-2 Pioneer nebo úspěšný RQ-5 Hunter, který vznikl americko – izraelskou spoluprací. [7]

Z americké výroby vznikl TQ-1 Predator, bezpilotní letoun s dlouhou vytrvalostí, který se využíval pro průzkumné účely, později vznikla jeho verze (MQ-1) vyzbrojená dvěma řízenými střelami. Predator byl v provozu od roku 1995 a byl nasazen v bojích mimo jiné v Afghánistánu (při hledání Usámy bin Ládina), Bosně, Kosovu nebo Iráku. [7]

Dalším průzkumným letounem amerického letectva je známý RQ-4 Global Hawk. Vzlétl poprvé v únoru 1998. Během průzkumné mise dokáže zmapovat 100 000 m² terénu za den. Byl nasazen ve válce v Afghánistánu, v Iráku, v roce 2014 v pátrání po unesených školačkách v Nigérii, dále v boji proti Islámskému státu a od roku 2015 provádějí průzkum na východní Ukrajině. [5]

Americké námořnictvo používá k průzkumu a hlídkování také bezpilotní vrtulník MQ-8 Fire Scout. [8]

V minulosti byly bezpilotní prostředky používány zejména pro armádní účely. V současnosti mají stále větší využití i v civilním sektoru. Došlo k rozvoji technologií, zmenšení rozměrů bezpilotních prostředků a také ke snížení jejich pořizovací ceny. Poptávka i jejich uplatnění se tak neustále zvětšuje.

2 Rizika způsobená provozem bezpilotních prostředků

Všeobecně byl rok 2017 v historii civilního dopravního letectví v počtu nehod a počtu mrtvých osob nejlepší a nejbezpečnější. Došlo k 10 fatálním nehodám, při kterých zemřelo 44 lidí na palubě letadel a 35 osob na zemi. Ve srovnání s předchozími roky (2015: 16 nehod, 560 životů; 2016: 16 nehod, 272 životů) jde o výrazný pokles. [9]

Přestože bezpečnost letectví roste, nebezpečných sblížení civilních letadel s bezpilotními prostředky přibývá. K takovým situacím dochází v blízkosti letišť, kde je výskyt dronů čím dál častější, přestože jsou jejich lety v těchto oblastech zakázané. Lety bezpilotních prostředků pravděpodobně většinou provádí amatérští uživatelé, kteří si nejsou dostatečně vědomi své odpovědnosti a riskují za účelem získání leteckých fotografií.

Na letišti Londýn - Heathrow došlo v roce 2015 k nebezpečným sblížením 26 krát, celosvětově může být takových případů až 700. V roce 2016 už to bylo na Heathrow kolem 70 sblížení. [9]

Amatérské létání s bezpilotními prostředky v blízkosti dopravních letadel může být velmi nebezpečné. Pokud by se dron dostal do motoru nebo narazil do skla pilotní kabiny, křidel nebo ocasních ploch, pravděpodobně by způsobil vážnou nehodu.

2.1 Případy sblížení civilního letounu s bezpilotním prostředkem

Zde je zmíněno několik konkrétních případů z posledních dvou let, kdy dron narušil bezpečnost a plynulost civilního leteckého provozu.

2. 7. 2017, Londýn Gatwick

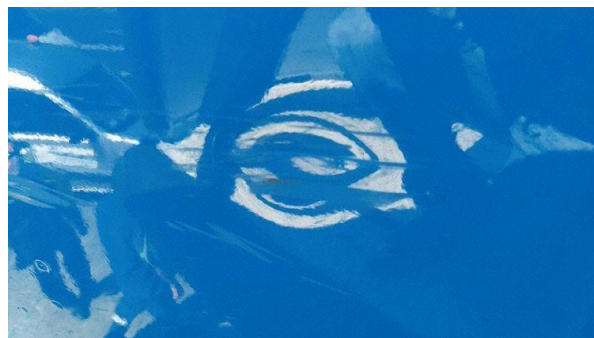
2. července 2017 musel být na londýnském letišti Gatwick dvakrát přerušen provoz z důvodu pohybu dronů v blízkosti přistávací a vzletové dráhy. [10]

11. 11. 2017, Buenos Aires

11. listopadu 2017 v Buenos Aires při přistání posádka B737-800 Aerolineas Argentinas zpozorovala dron a poté ucítila náraz. Naštěstí nikdo nebyl zraněn a srážka způsobila jen menší poškození letounu. Náraz byl do přídě letounu, pokud by ale dron zasáhl citlivější část stroje, situace mohla být velmi vážná. Bylo zahájeno vyšetřování. [11]



Obr. 1 Poškozená část letounu [11]



Obr. 2 Detail poškození letounu [11]

14. 11. 2016, Toronto

14. listopadu 2016 v Torontu posádka letounu de Havilland Dash 8 společnosti Porter Airlines při klesání ve výšce asi 2,5 km spatřila v cestě UAV. Okamžitě provedla úhybný manévr a o jedenáct minut později letoun bezpečně přistál. Posádka nemohla potvrdit, zda předmět byl opravdu dron, ale podle jejich popisu byl tmavý, velký asi 1,5 m, nacházel se přímo před nimi a rychle se blížil k letadlu.

Na palubě bylo v tu chvíli 54 pasažérů a 4 členové posádky. Dvě letušky byly s lehkým zranění převezeny do nemocnice. Při náhlém poklesu se jedna letuška udeřila do hlavy o strop, druhá se uhodila o stěnu. Cestující vyvázli bez zranění a letadlo beze škod. [12]

6. 5. 2016, Praha

K narušení provozu došlo v důsledku pohybu dronu již několikrát také na Letišti Václava Havla v Praze. Příkladem je incident z 6. května 2016, kdy letoun B787-800 společnosti Travel Service dostal povolení ke vzletu na dráze 12, který ale musel přerušit a ihned zastavit. Podle vysvětlení řídicích se v prostoru dráhy vyskytoval bezpilotní prostředek. Letadlo vzlétlo o 8 minut později. Zároveň muselo být přerušeno přistání letounu Embraer RJ – 190 společnosti Bulgaria Air. To přistálo o 20 minut později. [13]

17. 4. 2016, Londýn Heathrow

Ke srážce bezpilotního prostředku s letounem došlo také 17. dubna 2016 na letišti Londýn Heathrow. Společnost British Airways s letadlem A320 převážela 132 pasažérů a 5 členů posádky. Během konečného přiblížení posádka nahlásila náraz dronu do přední části letounu. Přistání bylo dokončeno. Škody na letounu nebyly velké a po kontrole byl opět uveden do provozu. [14]

1. 4. 2016, Amsterdam Schiphol

1. dubna 2016 na letišti Schiphol v Amsterdamu zkomplikovalo provoz dokonce několik dronů zároveň. První upozornění přišlo od posádky KLM, která při přistání nahlásila výskyt dronu ve výšce asi 300 m po jejich pravé straně. Posádka následujícího přistávajícího letounu KLM zahlédla dron po levé straně a také bezpečně dokončila přistání. Při kontrole dalekohledem z řídicí věže však žádný bezpilotní prostředek spatřen nebyl. Další přistávající letoun společnosti EasyJet byl z věže upozorněn a informoval řídicí, že vidí tři drony asi 2,5 NM mil daleko. Z dalších letadel už viděny nebyly.

Případ byl vyšetřován a nizozemská policie 16. dubna oznámila, že identifikovala dva muže ve věku 36 a 44 let, kteří létali se svými drony v přistávací cestě na letišti. Protože se s nimi pohybovali v zakázaném prostoru a měli přístroje mimo svůj dohled, což je přísně zakázáno, byl případ předán k dalšímu soudnímu řízení. [15]



Obr. 3 Místo zpozorování dronů na letišti Schiphol [15]

2.2 Další možnosti nezákonného použití dronů

2.2.1 Terorismus

Komerční bezpilotní prostředky neohrožují jen leteckou dopravu. Dají se velice jednoduše zneužít především díky jejich dostupnosti.

Dron může představovat nebezpečí sám o sobě. Například při střetu s člověkem může způsobit vážná až smrtelná zranění. Čím větší je jeho hmotnost a rychlost, tím vážnější mohou být poranění. Velkou hrozbou při střetu jsou roztočené vrtule.

Větší riziko ale plyne ze skutečnosti, že bezpilotní prostředky mohou přenášet náklad, například výbušniny, chemické a biologické zbraně nebo radioaktivní materiál. Dron s radioaktivním materiálem už byl odhalen na střeše úřadu japonského premiéra. Naštěstí množství radiace bylo velmi nízké a nebylo nebezpečné. Následně bylo zjištěno, že se nejednalo o teroristický útok, ale o protest proti jaderným elektrárnám. Nicméně tento případ dokazuje, že je útok proveditelný. [16]



Obr. 4 Dron s radioaktivním materiálem na střeše úřadu japonského premiéra [17]

Další varovná událost se stala v roce 2015, kdy se malá kvadrakoptéra dostala také na pozemky Bílého domu ve Washingtonu, D. C. Šlo pravděpodobně pouze o ztrátu kontroly pilota nad strojem. Dron se však dostal na pozemky, přestože je v hlavním městě USA létání s bezpilotními prostředky zcela zakázáno. Bílý dům je střežen radary, které ale zachytí jen letouny a větší drony. [18]

Bezpilotní prostředky mohou být použity také k útoku na jaderné elektrárny. S jejich pomocí mohou být do prostoru elektrárny transportovány výbušniny nebo poslouží k získání informací a naplánování útoku. Jen ve Francii bylo zaznamenáno desítky nezákonných přeletů UAS nad jadernými elektrárnami, kde je bezletová zóna. [19]

2.2.2 Narušování soukromí a špionáž

Bezpilotní prostředky lze zneužít ke špionáži nebo stalkingu, protože mohou nést kamery nebo mikrofony.

Zločinci s nimi mohou sledovat své oběti za pomoci kamery, pořizují snímky a následně je vydírají. Drony jsou i nástrojem pro zloděje k vytipování objektů ke krádežím a vysledování, kdy objekt není dostatečně zabezpečen. [20]

Bezpilotní prostředek vybavený mikrofonom lze použít k nelegálním odposlechům nebo k získávání utajovaných informací. Jsou k dostání i drony v podobě ptáka, což snižuje riziko jejich odhalení.

2.2.3 Pašeráctví

Bezpilotní prostředky mohou být také nástrojem k pašování nelegálního zboží přes hranice nebo do věznic.

V případě věznic se používají malé komerční drony, které se nepozorovaně dostanou s nákladem přes zdi nebo ploty a můžou pronést do prostor věznice drogy, zbraně nebo mobilní telefony. Podle BBC případy pašování do věznic přibývají. V roce 2014 se vyskytly pouze dva případy, v roce 2015 jich bylo už třicet tři. [21]

Co se týče pašování přes hranice, jedná se nejčastěji o drogy. Největší provoz pašujících bezpilotních prostředků je na hranicích Spojených států amerických a Mexika. Drogy jsou pomocí bezpilotních prostředků převáženy rychleji a s malým rizikem odhalení. Podle DEA (Drug Enforcement Agency) používají pašeráci drony už od roku 2011 a v roce 2012 došlo k přibližně 150 transportům drog. V roce 2015 spadla poblíž hranic hexakoptéra přepravující téměř tři kilogramy metamfetaminu (pervitin). V roce 2017 byl zadržen 25 letý Američan, který ovládal nákladní dron s nosností až 15 kg a snažil se asi 1,5 km od hranic s Mexikem přepravit mezi zeměmi 6 kg metamfetaminu. [22, 23, 24]



Obr. 5 Dron přepravující pervitin, 2015 [23]

3 Legislativa pro bezpečnost provozu

3.1 Návrh EASA na vytvoření společných předpisů pro provoz dronů v Evropě

V současné době jsou drony s hmotností vyšší než 150 kg regulovány jako jiná letadla s posádkou. Na drony o nižší hmotnosti se vztahují předpisy vydané jednotlivými členskými státy EASA. Využívání dronů během posledních let výrazně roste a očekává se růst ještě větší, a proto EASA navrhla vytvoření společných evropských bezpečnostních pravidel pro jejich provoz. Tato pravidla by se neměla odvíjet pouze od hmotnosti dronu, ale také od způsobu jejich využití. Například bezpilotní prostředek nad otevřeným mořem představuje menší riziko než dron pohybující se nad hlavami lidí na koncertě.

Návrh byl zveřejněn a poté bylo možné podávat k němu připomínky. EASA přijala více než 3 700 komentářů k návrhu, které zanalyzovala a shrnula. Toto shrnutí bylo zveřejněno v lednu 2018. Návrh nyní musí přijmout Evropská komise, to by se mělo uskutečnit do konce roku 2018.

EASA v návrhu NPA 2017-05 (A) dělí bezpilotní prostředky do kategorií, které vycházejí ze způsobu použití a z toho plynoucích rizik vůči třetím stranám – tj. osobám a majetku.

- Otevřená kategorie (nízké riziko)
- Specifická kategorie (střední riziko)
- Certifikovaná kategorie (vysoké riziko)

Na rozdíl od letounů s posádkou na palubě jsou v návrhu uvažovány dva typy rizik:

- Rizika ve vzduchu (Air risk)
- Rizika na zemi (Ground risk)

Air risk představuje riziko srážky s ostatním provozem (pilotovaným i bezpilotním) a ground risk riziko pro osoby a majetek na zemi. U prostředků s posádkou se ground risk neuvažuje. Předpokládá se, že je nepřímo zmírněn ochranou letounu a lidí na palubě. Ground risk závisí na mnoha faktorech, např. hustotě zalidnění, infrastruktuře, nebo velikosti UAS.

Cílem návrhu je zavést regulační rámec založený na rizicích a výkonnosti UAS, zajistit pro UAS vysokou a jednotnou úroveň bezpečnosti, podpořit rozvoj trhu s UAS a přispět k řešení obav občanů v oblasti bezpečnosti, ochrany soukromí, ochrany údajů a ochrany životního prostředí. [25]

Otevřená kategorie

Pro provoz UAS v otevřené kategorii není nutné povolení CAA. Bezpilotní prostředek však musí být neustále na dohled pilota, nesmí přesáhnout vzletovou hmotnost 25 kg a nesmí překročit výšku letu 120 m nad terénem nebo vodní hladinou.

V návrhu je obsaženo nařízení zónového monitorování (geo-fencing), což je technologie zabudovaná v dronu, která používá souřadnice GPS a brání tomu, aby UA vstupoval na zakázaná místa.

Dále by měly být vymezeny „zóny bez dronů“, kde je provoz UAS bez povolení příslušného úřadu zakázán a „zóny s omezeným pohybem dronů“, kde palubní vybavení bezpilotního prostředku musí umožňovat identifikaci UAS a automatické omezení jeho pohybu.

Na základně návrhu by měli mít výrobci a dovozci povinnost informovat své zákazníky o provozních omezeních při používání bezpilotních prostředků v otevřené kategorii a dodržovat směrnici o bezpečnosti výrobků.

V návrhu byly představeny tři možnosti rozdělení na podkategorie (O1, O2 a O3). Ve všech možnostech jsou podmínky pro provoz UAS rozděleny podle rizika vůči osobám na zemi a dále podle hmotnosti. Základní podkategorie jsou tedy lety nad lidmi, kromě letů nad shromážděním lidí, lety blízko lidí, za dodržení bezpečné vzdálenosti od nich, a lety daleko od lidí. Možnost O2 je zaměřená na technické požadavky. Preferována je Možnost O3, která zajišťuje nejvyšší úroveň bezpečnosti. Byla vyvinuta na základě diskuzí a zasedání s odborníky a obsahuje prvky obou předchozích možností. Pro srovnání jsem v tabulkách níže uvedla všechny tři varianty. [25]

Tab. 1 Otevřená kategorie Možnost O1 [26]

Kategorie UAS	MTOM	Vzdálenost od lidí	Maximální výška letu	Způsobilost pilota	Věk pilota	Elektronická identifikace/geofencing
A1 lety nad lidmi	<250 g	Bez limitu	120 m	Nic	Rozhoduje členský stát	Ne
A2 lety blízko lidí	<3 kg	Méně než 50 metrů, ale ne přímo nad		Online školení		Ano
A3 lety daleko od lidí	<25 kg	Více než 50 metrů od shromáždění		Teoretická i praktická zkouška		

Tab. 2 Otevřená kategorie Možnost O2 [26]

Kategorie UAS	MTOM	Vzdálenost od lidí	Max. výška letu	Osvědčení způsobilosti pilota UAS	Věk pilota UAS	Hlavní technické požadavky	Elektronická identifikace, geo-fencing
A0	< 250 g	Žádné lety nad shromážděním lidí	50 m	Žádné	Bez omezení	First-person-view (FPV)/ follow-me mód, maximální výška 50 m	No
A1	<900 g			Seznámení (samostudium)	14 let	FPV/follow me mód, maximální výška 50 m	Ano, vyznačeno ID operátora
A2	900 g až 4 kg	Ve vzdálenosti 20/50 m od nezúčastněných osob	150 m	Osvědčení o způsobilosti (po teoretickém a praktickém testu)	16 let	Geofencing, auto-return home, řízení ztráty spojení	Ano, vyznačeno ID operátora, unikátní č. stroje

A3	<25 kg					Geofencing, auto-return home, řízení ztráty spojení	Ano, vyznačeno ID operátora, unikátní č. stroje
A4	<25kg	Jen ve vzdálených oblastech				N/a	Ano, vyznačeno ID operátora

Tab. 3 Otevřená kategorie Možnost O3 [26]

Podkategorie UAS	Třída UAS	MTOM	Vzdálenost od lidí	Maximální výška letu	Způsobilost pilota	Věk pilota	Hlavní technické požadavky	UAS registrace	Elektronická identifikace (EI), Geofencing (G)
A1 Lety nad lidmi	Soukromě postavené	<250 g	Lety nad nezúčastněnými lidmi (ne nad shromážděními)	< 50 m	Příručka od výrobce	Bez omezení	N/a	Ne	Ne
	C0						Regulace hraček, žádné ostré hrany, příručka		
	C1	< 900 g		< 120 m	Příručka a online školení s testem	Od 14 let nebo s dozorem	Kinetická energie, žádné ostré hrany, volitelný limit výšky, příručka	Jen operátor	EI pokud fotoaparát > 5 MP; G a EI pokud v oblasti požadováno
A2 Lety blízko lidí	C2	< 4 kg	V blízkosti lidí, ale v bezpečné vzdálenosti (multikoptéra >20 m, křídlo >50 m)	< 120 m	Příručka a osvědčení způsobilosti	Od 16 let nebo s dozorem	Mechanická pevnost, řízení ztráty spojení, volitelný výškový limit, příručka	Operátor a UA	Ano
A3 Lety daleko od lidí	C3	< 25 kg	V oblastech, kde se nepředpokládá přítomnost nezúčastněných osob	< 120 m	Příručka a online školení s testem	Od 16 let nebo s dozorem	Ztráta spojení, výškový limit, příručka	Operátor a UA	Pokud v oblasti požadováno
	C4		Dodržovat bezpečnou vzdálenost od zaplněných oblastí ve městech, osadách nebo od letišť	< 120 m			Provozní pokyny, příručka		
	Soukromě postavené		< 120 m	N/a					

Specifická kategorie

Specifická kategorie je určena pro provoz se specifickým rizikem, oprávnění bude vydávat příslušný státní úřad CAA. Specifickým rizikem může být například přelétávání osob nebo sdílení vzdušného prostoru s letadly s posádkou.

Provozovatel musí poskytnout úřadu veškeré informace, uvést možná rizika a opatření pro omezení těchto rizik. Příslušný úřad bude zodpovědný za vydání oprávnění a provoz pak musí probíhat v souladu s podmínkami a omezeními, která jsou uvedena v tomto oprávnění. [25]

Certifikovaná kategorie

Požadavky na UAS spadající do certifikované kategorie jsou srovnatelné s požadavky na letadla s posádkou. Dohled vykonává letecký úřad příslušného státu a EASA. Bezpilotnímu prostředku musí být vydáno osvědčení o letové způsobilosti a využívá služeb řízení letového provozu. Oprávnění musí mít jak pilot, tak i provozovatel – certifikát provozovatele dálkově řízených UAV. Do této kategorie by měly patřit například bezpilotní prostředky, které létají nepřetržitě nad lidmi, přepravují lidi nebo nebezpečný náklad. [25]

3.2 Doplněk X Předpis L2 - Bezpilotní systémy

Doplněk X je součástí předpisu L 2 Pravidla létání a je jediným komplexním předpisem o užívání bezpilotních prostředků v ČR. Vztahuje se na bezpilotní letadla do maximální vzletové hmotnosti 25 kg. Bezpilotní prostředky převyšující tuto hmotnost je nutno chápat jako kterákoliv jiná letadla s posádkou.

V Doplněku X jsou UA rozděleny do několika kategorií, pro všechny však platí následující pravidla:

- při provozu UA nesmí dojít k ohrožení bezpečnosti ve vzdušném prostoru, osob a majetku na zemi a životního prostředí
- pilot musí mít s UA trvalý vizuální kontakt, pokud ÚCL nepovolí jinak
- let smí být provozován v minimální vzdálenosti od oblaků, tj. 1 500 metrů horizontálně a 300 metrů vertikálně
- bezpilotní prostředky nesmí přepravovat nebezpečný náklad ani shazovat náklad
- pilot UA nesmí být po dobu letu v pohybu pomocí technického zařízení
- nesmí být použit raketový nebo pulzační pohon

Za provedení bezpečného letu je zodpovědný pilot, musí zaznamenávat informace o letu do deníku letadla. Informace mají obsahovat datum letu, jméno pilota, označení letadla, místa vzletu a přistání, dobu letu, druh letové činnosti a potenciální události související s bezpečností letu.

Let smí být proveden pouze v určitých prostorech a ve výšce maximálně 300 m nad zemí. S UA se nesmí létat v zakázaných, nebezpečných, rezervovaných nebo vyhrazených prostorech. V řízeném okrsku letiště se smí bezpilotní prostředky pohybovat pouze do výšky 100 m nad zemí a v horizontální vzdálenosti minimálně 5 500 m od vztažného bodu letiště, pokud není povoleno ÚCL jinak. Výjimkou jsou stroje do 0,91 kg, které se mohou pohybovat v okolí letiště do 100 m nad zemí a mimo jeho ochranná pásma.

UA jsou rozděleny v Doplnku X do dvou kategorií:

- Rekreačně sportovní
- Výdělečné, experimentální, výzkumné

Rekreačně sportovní kategorie

Od hmotnosti 0,91 kg musí být stroj opatřen identifikačním ohnivzdorným štítkem se jménem a telefonním číslem majitele a zároveň musí být vybaven vestavěným bezpečnostním systémem, který provede ukončení letu při poruše.

Od hmotnosti 7 kg musí pilot dodržovat následující vzdálenosti: při startu a přistání nikdo kromě pilota nesmí být v horizontální vzdálenosti menší než 50 m, při letu se UA nesmí k osobám, prostředkům a stavbám přiblížit na méně než 100 metrů a musí se létat nejméně 150 metrů horizontálně od hustě osídleného prostoru.

Výdělečné, experimentální, výzkumné

UA spadající do této kategorie musí splňovat podstatně více požadavků bez ohledu na hmotnost:

- Bepilotní letadlo zaregistrované v evidenci ÚCL
- Pilot zaregistrovaný v evidenci ÚCL
- Pilot musí absolvovat teoretický i praktický test a prokázat tak schopnost bezpečně řídit bezpilotní letadlo
- Získání povolení k létání od ÚCL

- Povolení k provozování leteckých prací (LP) a leteckých činností pro vlastní potřebu (LČPVP)
- Bezpilotní letadlo označeno ohnivzdorným identifikačním štítkem se jménem a telefonním číslem provozovatele a poznávací značkou,
- Nesmí se přiblížit do vzdálenosti bližší než 50/100/150 m od osob při vzletu/ od osob a staveb/ od hustě osídlené zástavby
- Sjednáno pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem bezpilotního letadla
- Vybavení „failsafe“ systémem, který provede přistání v případě poruchy
- Doložit provozní příručku k UAS
- Hlásit mimořádné události spojené s provozem UA [3]

V návrhu EASA jsou požadavky na provoz dronů na rozdíl od Doplnku X rozděleny do třech kategorií podle způsobu použití a z toho plynoucích rizik. Proti Doplnku X je v návrhu u bezpilotních prostředků těžších než 4 kg v otevřené kategorii nařízeno vybavení technologií zónového monitorování, která zabrání vstupu na místa, kde je provoz dronu nežádoucí. Také je doplněna povinnost výrobců informovat zákazníky o provozních omezeních. Návrh EASA naopak postrádá povinnost pro UA o hmotnosti větší než 0,91 kg být vybaven systémem, který provede přistání při poruše.

Ostatní body jsou v obou dokumentech srovnatelné. Například trvalý vizuální kontakt pilota s dronem, výškové omezení a zákaz letu ve vymezených prostorech.

4 Technologie na obranu proti bezpilotním prostředkům

4.1 Detekce

Pro umožnění účinné obrany proti dronům je nutné v chráněných oblastech a prostorech nejprve zajistit, aby mohl být potenciálně nebezpečný bezpilotní prostředek zpozorován, identifikován a lokalizován. Velké vojenské drony je možno detekovat snadno za pomoci běžných letištních radarů, u malých komerčních UAS je ale detekce složitější. Způsobuje to malá velikost jejich odrazných ploch.

Metody využívané k detekci bezpilotních prostředků jsou založeny na některé z vlastností dronů. Tou může být odrazení rádiových vln, tvorba akustického vlnění, optická viditelnost nebo vyzařování tepla. Dají se tedy použít radary, akustické senzory, optická detekce nebo termografická detekce.

Vývojem a výrobou detekčních systémů pro odhalení malých komerčních dronů se v dnešní době zabývá mnoho firem na celém světě. Jejich řešení často obsahují kombinaci více typů senzorů, které vyhodnocují přítomnost UAS na základě několika kritérií. Systémy jsou schopné sledovat chráněnou oblast 24 hodin denně a spustit alarm jen v případě narušení bezpilotním prostředkem, přičemž dokáží odlišit dron od falešných cílů jako jsou ptáci, netopýři a podobně. Způsob detekce bezpilotního prostředku závisí také na prostředí, které chceme zabezpečit. V prostorech se zástavbou budou vhodnější jiné metody než na otevřeném prostranství. Tam je detekce jednodušší, protože není rušena vlivy okolí.

Detekce dronu v otevřeném prostoru se týká letišť, továren a věznic, patří sem také open air koncerty a hudební festivaly nebo prostory hraničních přechodů, kde hrozí pašování zboží.

Detekovat dron v prostorech se zástavbou je nutné například na náměstích, nádražích, v místech, kde je velká koncentrace lidí, kde se lidé shromažďují nebo se konají například sportovní události. Tato detekce také může být využita v případě zabezpečení vládních budov, sídla policie a dalších prostor, kde existuje riziko špionáže.

4.1.1 Detekce radiolokátorem

Radiolokátor neboli radar je přístroj, který slouží k určení výskytu a polohy objektů v okolí pomocí elektromagnetického záření – rádiových vln. Vlny se odrážejí od objektů a jejich vzdálenost je určována podle časového rozdílu vyslání vlny a příjmu vlny odražené.

Existuje radar primární a sekundární. Primární radar vlny vysílá a přijímá odražené a nevyžaduje od sledovaných objektů žádné vybavení. Sekundární radar potřebuje, aby letoun byl na palubě vybaven odpovídačem sekundárního radaru, který na dotaz vyslaný pozemní anténou (dotazovačem) odpovídá svým kódem. Radar tak dokáže identifikovat jednotlivá

letadla. [27]

U komerčních UAS ale nelze očekávat přítomnost odpovídače a sekundární radar je tak pro jejich detekci nevyužitelný.



Obr. 6 Sekundární radar [28]

Běžným letištním primárním radarem jsou komerční bezpilotní prostředky také těžko zjistitelné, což je způsobeno jejich malou velikostí. Zásadní je vlnová délka, kterou daný radar vysílá. Pokud je ve srovnání s dronem dlouhá, může docházet k obtékání objektu.

UAS jsou často vyrobeny z plastu, od kterého se elektromagnetické vlny odráží hůř. Drony mívají stejně velkou odraznou plochu jako ptáci. Z toho plyne další problém při detekci, kdy radar nerozpozná, zda se jedná o bezpilotní prostředek nebo ptáka.

V současnosti už byly vyvinuty sofistikované moderní radiolokátory, které mohou být i mobilní a dokáží detekovat bezpilotní prostředky na vzdálenost několika kilometrů.

Příkladem je například systém Elvira od společnosti Robin Radar Systems. Tento systém je schopen odhalit menší multikoptéry až na vzdálenost 3 km. Pokrývá úhel 360°, stačí tedy jeden přístroj pro všechny směry. Dokáže také rozlišovat ptáky, drony a jiné pohyblivé předměty a nevyvolává tak falešný poplach. Společnost Robin Radar Systems má sídlo v Nizozemsku a specializuje se na radary sledující ptactvo a netopýry. [29]



Obr. 7 Systém Elvira společnosti RobinSystems [29]

Jako další příklad uvedu systém NO-DRONE italské společnosti IDS. Tento radarový systém dokáže identifikovat malé komerční bezpilotní prostředky typu křídlo i multikoptéry ve dne i v noci. Lze ho dovybavit zařízením pro vizuální kontrolu. Může být nainstalován na pevno na letišti, nebo na vozidle a sloužit pro dočasné rychlé nasazení. [30]



Obr. 8 Systém NO-DRONE společnosti IDS [30]

4.1.2 Optické systémy

Optické systémy lze využívat na kratší vzdálenosti. Většinou jsou vybaveny kombinací denní a infračervené noční kamery. Dále je potřeba počítač s příslušným softwarem, který provádí vyhodnocování podle předem naprogramovaných algoritmů.

Jejich výhodou je možnost přiblížení obrazu. To umožňuje identifikovat přesný typ bezpilotního prostředku nebo i odhalit, zda nese například nebezpečnou nálož. Další výhodou je, že tento systém nemůže být odhalen sledovaným cílem.

Velkou nevýhodou je velká citlivost na počasí. Při špatné viditelnosti, sněhu, dešti nebo mlze, se dosah optického systému velmi zkracuje. Za těchto podmínek ale většinou nelítají ani malé komerční bezpilotní prostředky.

Jako příklad optického systému uvedu Sky Patriot. Tento systém dokáže odhalit dron, který vstoupil do sledovaného prostoru, na vzdálenost 800 m a jeho zorné pole je 30°. Jde o pasivní systém a jeho hmotnost je 5 kg.[31]



Obr. 9 Sky Patriot [32]

4.1.3 Akustické senzory

Akustické senzory využívají charakteristického zvuku, který vydávají bezpilotní multikoptéry. Tento zvuk jsou senzory schopné odhalit i na pozadí venkovního hluku. [33]

Mezi výhody patří nemožnost záměny bezpilotního prostředku a ptáka. Lze je také dobře využít v zastavěných prostorách, jelikož dokáží dron odhalit i pokud se nenachází v přímé viditelnosti senzoru, například za stromem nebo za budovou, tj. tam kde by nebyl vidět na radaru. Tyto systémy jsou většinou přenosné a ve srovnání s ostatními mají nižší pořizovací cenu. Jde o pasivní systém a nemůže tak být odhalen.

Nevýhodou může být, že nejsou schopny detekovat drony typu křídlo, které nevydávají charakteristický zvuk. Tyto bezpilotní prostředky ale nejsou mezi komerčními drony časté. Akustický senzor by také nemusel zachytit bezpilotní prostředek, který si uživatel zkonstruoval sám a jeho charakteristický zvuk bude odlišný od sériově vyráběných dronů. Dron také může

mít zvuk upravený, aby nemohl být zachycen. Dále akustické senzory mají malý dosah. Hrozí planý poplach od zařízení s podobným zvukem, například sekačka na trávu a další. U dnešních systémů je ale toto riziko malé.

Příkladem detekce, která využívá akustický senzor je systém Discovair od Squarehead Technology. Má dosah až 500 m a váží pouze 6 kg. Může být používán 24 hodin denně. Pokud detekuje bezpilotní prostředek, upozorní na něj, zobrazí mapu s jeho přesnou polohou a je schopen určit i informaci o výšce. Je vhodný především pro použití v zastavěných oblastech, pro ochranu věznic, továren nebo vládních a jiných důležitých budov. [34]

4.1.4 Kombinované systémy

Pro zpřesnění detekce některé systémy využívají kombinaci různých senzorů. Určení, zda je objekt opravdu bezpilotní prostředek, je pak jednodušší. Příkladem je Drone Tracker společnosti Dedrone.

Senzory zařízení Drone Tracker:

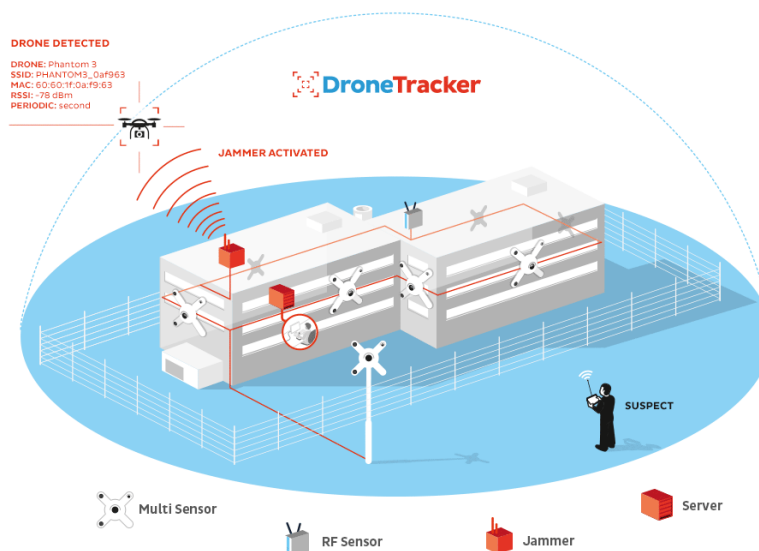
1. 2 akustické senzory s dosahem 50 až 80 m
2. 2 Wi-Fi senzory detekující WLAN signály dronu
3. Optický senzor noční (infračervená kamera)
4. Optický senzor denní [35]



Obr. 10 Drone Tracker [36]

System lze rozšířit a zkombinovat s následujícími zařízeními:

- RF Sensor, pasivní senzor detekující rádiové frekvence
- Drone Jammer, rušič signálu



Obr. 11 Rozšířený systém Dedrone [36]

4.2 Eliminace

Pokud dojde k detekci komerčního bezpilotního prostředku v prostoru, kde se nesmí vyskytovat nebo kde by jím mohli být ohroženi lidé, životní prostředí a majetek, je nutné zajistit jeho eliminaci.

Jednou z nejjednodušších, nejlevnějších a účinných metod se může zdát sestřelení dronu pomocí střelné zbraně, nejlépe brokovnice, kde není potřeba velká přesnost. To ale vyžaduje přítomnost střelce s příslušným zbrojním průkazem a zbraní. Tato metoda lze použít pouze v odlehlých oblastech, kde nemůže ohrozit lidi. V městské zástavbě by střelení bylo velice rizikové. Zároveň většinou není vhodné, aby sestřelený dron dopadl na zem, například pokud nese výbušninu či jiný nebezpečný materiál. Také v případě letiště by kusy roztrženého letounu na dráze způsobily velké komplikace. [33]

Výrobci proto vyvíjejí řadu systémů, které jsou založeny na různých metodách eliminace, a každá může být vhodná pro jiný typ chráněného objektu.

Systémy na eliminaci bezpilotních prostředků můžeme rozdělit na dvě základní kategorie: elektronické rušení a mechanická eliminace.

4.2.1 Mechanická eliminace

4.2.1.1 Odchyt dronu dravcem

Jednou z nejzajímavějších metod bezpečné mechanické eliminace nežádoucího bezpilotního prostředku je výcvik a nasazení dravých ptáků. Dravci se již osvědčili pro plnění úkolů v rámci biologické ochrany letišť. Spolu se psi chrání přistávající a vzlétávající letouny proti střetu s ptáky nebo jinou zvěří. Na Letišti Václava Havla takto pomáhají už od roku 1982. [37]

Výcvikem dravců pro odchyt bezpilotních prostředků se zabývá nizozemská společnost Guard From Above. Ptáci jsou nejprve naučeni identifikovat dron, následně ho chytit a najít místo, kam s dronem bezpečně dosednout. Výhodou této metody eliminace je, že dravec bezpilotní prostředek kontrolovaně nese a není třeba se bát pádu dronu. Otázkou je, zda nebude odchyt pro dravce příliš nebezpečný. Zejména rotující vrtule multikoptér by mohly způsobit zranění. Společnost Guard From Above má s dravci dlouholetou zkušenost a na svých webových stránkách tvrdí, že ptáci jsou dobře chráněni, jelikož i v přírodě často loví velké a nebezpečné kořisti. Na odchyt dronů jsou cvičeni zejména orli, kteří ve volné přírodě dokáží chytit například zajíce, bažanta nebo lišku. Dále neustále vyvíjejí opatření pro ochranu ptáků. Holandská organizace aplikované vědy a vývoje byla požádána o prozkoumání dopadů odchyту na drápy dravců, výsledky ale zatím nejsou známy. [38, 39]



Obr. 12 Odchyt dronu dravcem [40]

Jeden speciálně vycvičený orel od nizozemské policie byl v roce 2017 vypůjčen do Bruselu, kde se konalo otevření nové centrály NATO. Bylo zde přítomno 29 hlav členských států a bylo potřeba zajistit, aby se v jejich blízkosti žádný bezpilotní prostředek neobjevil. [40]

Výcvik dravců na zneškodnění nepřátelských nebo zbloudilých dronů na letištích provádí už pár let také francouzská armáda. [41]

4.2.1.2 Odchyt dronu do sítě

Další možností, jak dron odchytit a bezpečně ho snést na zem, je chytit ho do sítě pomocí jiného dronu. Například japonská policie bude používat dron, který má pod sebou připevněnou síť o rozměru 2x3 metry. Majitele bezpilotního prostředku, který se vyskytuje v zakázaných prostorech, nejdříve upozorní pomocí reproduktorů na policejním dronu a pokud majitel neuposlechne a nezmění směr letu, jeho stroj bude chycen do sítě a bude mu tak znemožněn další let. Toto opatření je zřejmě reakcí na incident, kdy dron dopravil na střechu sídla japonského premiéra radioaktivní látku. [42]



Obr. 13 Dron japonské policie [42]

Podobné řešení vymyslel také tým v čele s profesorem So Rastgaarem na technické univerzitě v Michiganu v USA. Jejich systém – na rozdíl od japonského policejního – síť doslova vystřelí a nepřátelský bezpilotní prostředek tak nemá šanci provést úhybný manévř a uniknout. Síť je na jednom konci stále připevněna k dronu a lze ji vystřelit až na vzdálenost 12 m. Jakmile je do ní druhý dron zachycen, nemůže se z ní uvolnit a je odnesen na bezpečné místo. Odchytový systém může být ovládán automaticky, manuálně nebo kombinací obojího. [43]



Obr. 14 Dron s vystřelovací sítí vyvinutý na Michigan Technological University [43]

Předností odchytu pomocí UAV je možnost jejich rozmístění na více místech po ploše, kde jsou připraveny k okamžitému vzletu a krátká reakční doba. Nevýhodou je, že konstrukce těchto UAV je složitější, je nutné do systému umístit senzory pro určení polohy cíle a přesné vystřelení sítě.

Dron lze odchytit do sítě i bez pomoci jiného bezpilotního prostředku. Existuje přenosné odpalovací zařízení, z něhož jsou vystřelovány speciální kapsle se sítí, která se před zasažením roztáhne, znemožní dronu otáčení vrtulí a způsobí tak jeho pád. Některé sítě mohou být vybaveny i malým padákem, který se rozevře a zpomalí dopad zachyceného UAV. Tyto systémy mají dosah kolem 100 m.

Příkladem je Skywall 100 společnosti Open Works Engineering. Tento stroj o váze 12 kg dokáže zachytit dron jakéhokoli tvaru a materiálu, nezáleží ani na tom, zda je bezpilotní prostředek řízený nebo autonomní. K vystřelení kapslí se sítí využívá stlačeného vzduchu. [44]



Obr. 15 Skywall 100

Zásadní nevýhodou tohoto řešení je, že se střelec musí dostat blízko cíle, aby ho měl na dostřel. U ochrany malých objektů to není problém, ale například u rozlehlých letišť by mohl být čas, za který se dostane střelec na vhodné místo, nedostačující. Proto je tento systém vhodný především pro ochranu venkovních sportovních stadionů nebo důležitých osob na veřejných shromážděních.

Další nevýhodou jsou velké rozměry a hmotnost zařízení Skywall 100 a větší požadavky na personál, než použití odchytných bezpilotních prostředků.

Společnost Open Works Engineering vyvinula také SkyWall 300. Tímto systémem se nezaměřuje z ruky, ale stojí samostatně. Je schopný pracovat plně autonomně a může být integrován se systémem pro detekci dronu. Má hmotnost 175 kg a rozměry 1,1 x 0,5 x 1,1 m. Vystřeluje stejné kapsle jako Skywall 100 a využívá k tomu stlačeného vzduchu. [44]



Obr. 16 Skywall 300 [45]

4.2.2 Elektronické rušení

Nejčastěji je rušen signál, pomocí kterého probíhá komunikace mezi pilotem a dronem. V závislosti na konstrukci se pak bezpilotní prostředek automaticky vrátí na místo vzletu, nebo zahájí nouzové přistání.

Další možností je rušení signálu GPS mezi UAV a družicí. Díky tomu ztratí dron informaci o své poloze a není tak schopen dosáhnout svého cíle. Rušení navigačního signálu účinkuje na rozdíl od rušení řídicího signálu i na bezpilotní prostředky v automatickém režimu letu.

Problémem u této metody eliminace je, že používání rušiček je nelegální. Výjimku by mohly dostat bezpečnostní složky, ale v komerční oblasti se v blízké budoucnosti pravděpodobně nebudou dát využívat.

Vysílaný rušivý signál je schopen vyřadit z provozu nejen dron, ale i jiná zařízení využívající elektromagnetické vlnění, např. telefony, rádia, wi-fi. Použití všesměrových rušičů, které dokážou vykryt prostor o průměru několikaset metrů si lze zejména v zástavbě jen těžko představit. Výrobci ale nabízejí i rušičky, které vysílají v úzkém zorném úhlu, což je praktičtější.

Battelle DroneDefender

DroneDefender je lehká přenosná rušička, váží 5 kg a má dosah kolem 400 m. Dokáže rušit zároveň signál řízeného bezpilotního prostředku i GPS signál. Výhodou je snadná manipulace a ovládání. Na jedno nabití vydrží pracovat nepřetržitě 2 hodiny.

Tento systém je vhodné používat na multikoptéry. V případě, že je jejich signál narušen, zahájí přistání a není tu riziko poškození dronu nebo ohrožení lidí a majetku. Je nutné rušičku držet namířenou na dron i během klesání, aby na něj stále působilo rušivé elektromagnetické vlnění.

Tento systém byl vyvinut v USA, ale není autorizován, jelikož je jeho použití v USA stejně jako v jiných zemích nelegální. Nemůže tak být nabízen k prodeji ani pronájmu. [46]



Obr.17 DroneDefender V2 [46]

Drone Dome

Drone Dome je systém vyvinutý izraelskou společností Rafael. Dokáže bezpilotní prostředky nejen eliminovat, ale i detekovat pomocí radaru a kamer. Má 360 stupňové pokrytí. Pokud detekuje dron, oznámí to operátorovi a ten může spustit rušení navigačního i rádiového signálu. [47]



Obr.18 Drone Dome [47]

AUDS

Dalším příkladem je Anti-UAV Defence System od britské společnosti Blighter. I ten má zabudovaný radar a dokáže odhalovat bezpilotní prostředky až do vzdálenosti 10 km. Pokud dron zachytí, odešle informace o jeho poloze kameře, která ho zaměří a může identifikovat, o jaký typ dronu jde. Pokud zachycený bezpilotní prostředek představuje hrozbu, přijde na řadu rušička navigačních i řídicích signálů. [48]



Obr. 19 Anti-UAV Defence System, Blighter [48]

5 Aplikace zabezpečení proti bezpilotním prostředkům na letišti Praha Kbely

V této kapitole navrhnu možné řešení zabezpečení proti výskytu nežádoucích bezpilotních prostředků na letišti Praha Kbely. Budu vycházet ze systémů detekce a eliminace, které jsem zmínila v této práci. Mým záměrem je navrhnout řešení pokud možno jednoduché, reálné a účelné.

5.1 Letiště Kbely

Letiště Kbely je vojenské letiště, které vzniklo krátce po vzniku Československé republiky v roce 1918. Až do roku 1937, kdy bylo dokončeno Letiště Václava Havla, bylo centrem československého letectví.

Nachází se na severovýchodě Prahy, na pomezí Kbel, Vysočan a Hlubětína a nedaleko Letiště Letňany.

V dnešní době zde sídlí 24. základna dopravního letectva, jejímž hlavním úkolem je:

- Přeprava ústavních činitelů ČR a zahraničních státních delegací
- Přeprava příslušníků Armády České republiky, vojenských misí
- Přeprava pro potřeby zdravotnické služby (letecký transport pacientů)
- speciální lety vzdušného průzkumu (fotografické snímování, letecké laserové skenování) [49]

Tab. 4 Základní údaje letiště Praha - Kbely [50]

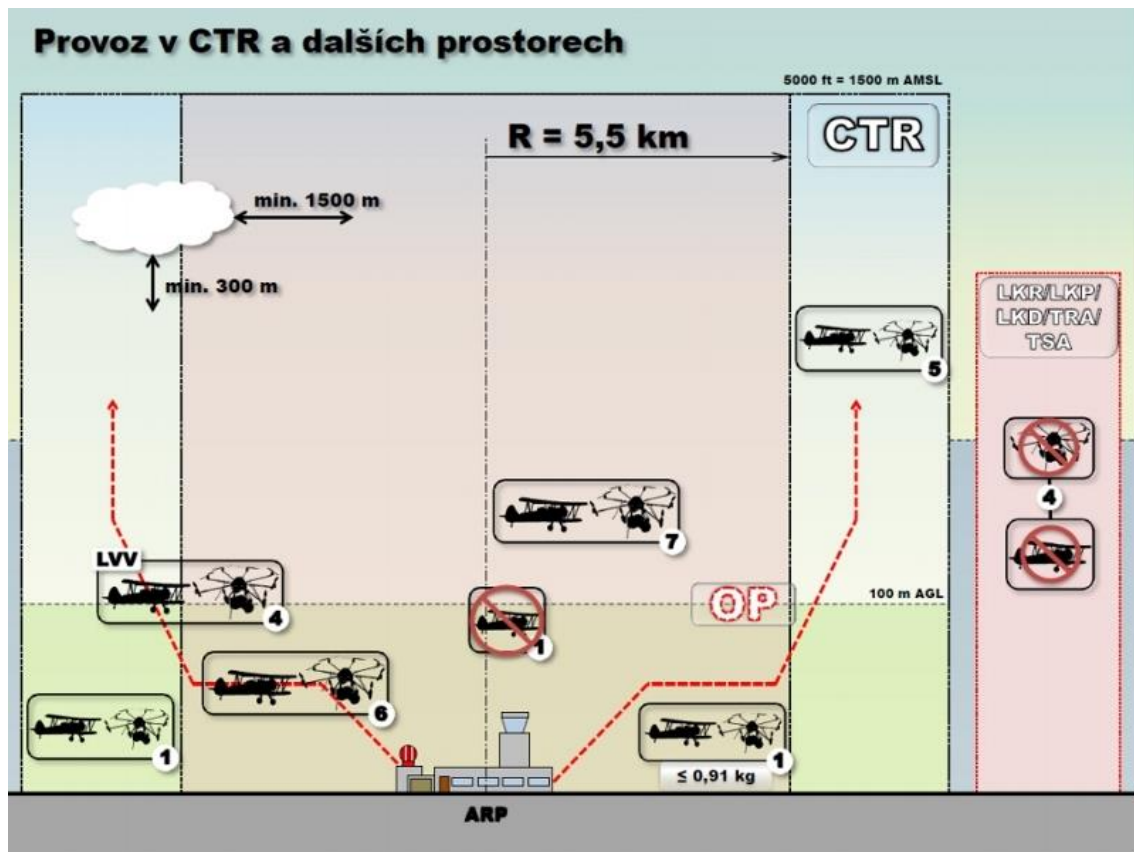
Provozovatel	Armáda České republiky
Otevření	Prosinec 1918
Kód ICAO	LKKB
Souřadnice	50 07 16,92 N 014 32 37,10 E
Nadmořská výška	286 m
Povolený druh provozu	IFR/VFR
Provozní doba	H 24
Označení RWY	06/24
Rozměry RWY	2 000 x 49 m

Povrch RWY	Asfalt
TODA	2 060 m

5.2 Detekce

Bezpilotní prostředky se dle Doplnku X nesmějí pohybovat v ochranných pásmech letiště a ve vzdálenosti 5,5 km od letiště. Výjimkou jsou bezpilotní prostředky s vahou nižší než 0,91 kg, které se v této vzdálenosti smí vyskytovat, ale jen do výšky 100 m.

Pro vstup všech bezpilotních prostředků do omezených prostor je možné požádat o výjimku a povolení od ÚCL. Pilot pak musí být schopen stálého spojení a koordinace s ŘLP.



Obr. 20 Provoz bezpilotních prostředků v okolí řízeného letiště [3]

Legenda k obrázkům 1 a 2:



Modely letadel s maximální vzletovou hmotností do 20 kg



Bezpilotní letadla (tj. včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nad 20 kg)

CTR	Řízený okrsek letiště	LKR	Omezený prostor
ATZ	Letištní provozní zóna neřízeného letiště	LKP	Zakázaný prostor
OP	Ochranná pásma letišť	LKD	Nebezpečný prostor
G / E	Označení třídy vzdušného prostoru	TSA	Dočasně vyhrazený prostor
ARP	Vztažný bod letiště	TRA	Dočasně vymezený prostor
AMSL	Nadmořská výška	AGL	Nad úrovní země

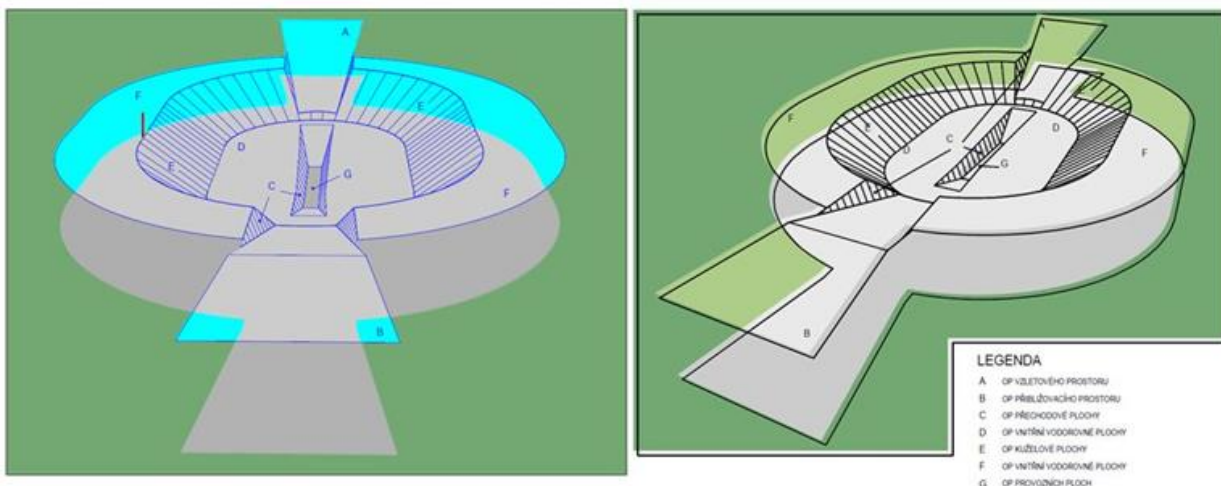
- 1 Lety bez koordinace
- 2 Splnění podmínek provozovatele letiště (PL) + koordinace s letištní informační službou (AFIS)
- 3 Splnění podmínek PL + koordinace s AFIS
- 4 Souhlas/povolení ÚCL
- 5 Letové povolení příslušného stanoviště řízení letového provozu (ŘLP). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru
- 6 Povolení ÚCL (nebo v případě leteckých prací (LP) koordinace s ŘLP + koordinace s PL). ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru
- 7 Povolení ÚCL (nebo v případě LP koordinace s ŘLP + koordinace s PL) + letové povolení ŘLP. ŘLP může dále požadovat: stálé obousměrné spojení a odpovídač sekundárního radaru

Obr. 21 Legenda k obr. 20 [3]

Ochranných pásem letiště existuje celá řada (Ochranná pásma letiště se zákazem staveb, Ochranná pásma letiště před nebezpečnými a klamavými světly, Ochranná pásma letiště ornitologická, Ochranná pásma radionavigačních zařízení letiště, atd.), ale pro účely Doplnku X Předpisu L 2 je pro zjednodušení ochranným pásmem myšleno pouze Ochranné pásmo s výškovým omezením staveb. [51]

To obsahuje následující ochranná pásma:

- OP vzletových prostorů letiště
- OP přiblížovacích prostorů letiště
- OP vnitřní vodorovné plochy letiště
- OP kuželové plochy letiště
- OP přechodových ploch letiště
- OP vnější vodorovné plochy letiště [52]



Obr. 1 - Ochranná pásma s výškovým omezením staveb pro přístrojovou RWY (přístrojová RWY - Runway - obvykle Vzletová a přistávací dráha řízeného letiště)

Obr. 22 Ochranné pásmo s výškovým omezením staveb [51]

Pro přehled o výskytu bezpilotních prostředků v okolí letiště bych zvolila detekci pomocí radiolokátoru. Tato metoda má ve srovnání s ostatními několikanásobně větší dosah a pokryje všechny směry. Optické nebo akustické systémy mají menší dosah a pro pokrytí celého ochranného pásma kolem letiště by muselo být nainstalováno mnohem více senzorů.

Radary na odhalení dronů mají dosah kolem tří kilometrů, bude tedy dostačující umístit v blízkosti letiště dva. Jejich umístění bych navrhla cca 700 m v ose dráhy za jejím jihozápadním a severovýchodním prahem. Tím získáme dostatečný přehled nad celou střeženou plochou.

Doporučila bych využít systém NO-DRONE italské společnosti IDS, který byl speciálně vyvinut pro detekci dronů na letištích.

NO-DRONE dokáže zajistit dohled nad pohybovými plochami na letišti, přistávacími a vzletovými drahami i nad sestupovými a odletovými cestami. Komunikuje se systémy ŘLP a nabízí tak možnost dohledu přímo pracovníkům ŘLP.

Lze ho doplnit denní i noční kamerou, což umožní přesnější identifikaci dronu.

Pokrytí radaru je dostatečné na to, aby systém včas upozornil obsluhu na výskyt nežádoucího bezpilotního prostředku a ostražka letiště tak měla možnost zasáhnout.

Hlavní znaky systému NO-DRONE:

- 360° pokrytí
- Dokáže sledovat současně více cílů
- Používá standardní datový formát jako je Asterix
- Je kompatibilní se systémy ŘLP
- Lze modelovat na přání zákazníka [30]

Na mou žádost o upřesnění technických údajů k užití radarů na Letišti Kbely mi výrobce IDS (Ingegneria Dei Sistemi) písemně sdělil, že se údaje velmi různí v závislosti na dané situaci a je nutné provést podrobný průzkum jejich odborníkem přímo na místě. Počet a umístění radarů tedy uvádím jen jako předběžný návrh.

5.3 Eliminace

Pokud dojde k zaznamenání nežádoucího bezpilotního prostředku na radarovém systému, je nutné, aby se obsluha pokusila dron identifikovat a neprodleně vyhodnotila rizika spojená s jeho výskytem v daném prostoru. Následně určí některou z dále uvedených možností eliminace.

Za účelem eliminace dronu ostrahou letiště bych vytvořila dva režimy, kdy jeden představuje ochranu nižšího stupně a druhý ochranu vyššího stupně.

Režim s nižším rizikem bude fungovat v běžném provozu letiště, kdy jsou provozovány lety vzdušného průzkumu nebo transport pacientů. V těchto případech by se dalo očekávat menší riziko špionáže nebo teroristického útoku.

Naopak zvýšená ochrana letiště bude pravděpodobně zapotřebí v případech, kdy je letiště využíváno pro přepravu vysoce postavených ústavních činitelů nebo zahraničních státních delegací. Ti se mohou vzhledem ke svému postavení stát terčem útoku jejich odpůrců nebo vzbudit nežádoucí zájem novinářů.

Režim se zvýšenou ochranou bude mít větší požadavky na personál a tím bude i finančně náročnější, proto bude vhodné ho střídat s běžným režimem. Konečné vyhodnocení a určení stupně rizika bude vždy záležet na odpovědném bezpečnostním pracovníkovi.

Z širokého výběru eliminačních metod jsem se rozhodla uvažovat pouze o metodách mechanické eliminace.

Elektronické rušení je sice účinné a rychlé, nicméně je tento způsob nelegální. Nevýhodou rušení signálu GPS a signálu dálkového řízení je také to, že se týká veškerého provozu na dané frekvenci. Znemožní tak let nežádoucího dronu, ale může vyřadit i jiná zařízení využívající ke komunikaci elektromagnetické vlnění a ohrozit tak bezpečnost provozu.

Možnost, že by letiště mohlo dostat povolení k použití rušiček v případě narušení prostoru dronem, se mi jeví jako málo pravděpodobná, případné sjednání výjimky by byla záležitost na několik měsíců nebo let.

5.3.1 Postup v případě detekování nežádoucího dronu – běžný režim

Po zpozorování dronu na monitoru radarového systému se může hlídka, která pravidelně kontroluje okolí letiště, pokusit najít pilota bezpilotního prostředku a upozornit ho na nezákonné chování. Pokud se nepovede pilota najít, neuposlechne, nebo přítomnost nežádoucího letounu bude způsobovat komplikace, přistoupí se k eliminaci.

Zvolila bych eliminaci zařízením SkyWall 300 britské společnosti OpenWorks Engineering. Výrobce nabízí instalaci napevno nebo mobilní variantu. Má dosah cca 300 m, proto bude v případě letiště vhodnější ho umístit na střechu automobilu, aby se s ním dalo rychle přiblížit k cíli. Dokáže zaměřit a chytit dron letící rychlostí až 50 km/h. Vystřelí po něm kapsli se sítí, která zabrání pohybu vrtulí. Síť je zaopatřena padákem, ten následně zbrzdí dopad znehybněného bezpilotního prostředku na zem. Po odstřelu pověřená osoba dojede pro dron, zajistí ho a předá k dalšímu šetření, aby byl objasněn účel nezákonného vniknutí a odhalen odpovědný provozovatel.

Hlavní znaky systému SkyWall 300:

- Automatická identifikace a sledování dronu
- Vystřelení kapsle se sítí pomocí stlačeného vzduchu
- Síť vybavena padákem pro zbrzdění pádu
- Lze umístit napevno nebo na automobil
- Lze rozmístit a propojit více systémů a zajistit tak větší pokrytí
- Váha 175 kg
- Rozměry: 1,1 m x 0,5 m x 1,1 m

5.3.2 Postup v případě detekování nežádoucího dronu – režim se zvýšenou ochranou

V režimu se zvýšenou ochranou se v případě vniknutí nežádoucího dronu do vymezeného prostoru okamžitě přistoupí k eliminaci.

Kromě připraveného automobilu s eliminačním systémem SkyWall 300 bude v prostorách letiště rozmístěno několik střelců vybavených zbraní SkyWall 100, kterou se kapsle se sítí odpalují z ruky. Střelci budou rozmístěni v kritických místech vytipovaných bezpečnostními pracovníky a napojeni na systém detekce, který je upozorní na polohu případného narušitele

Hlavní znaky systému SkyWall 100:

- Vystřelení kapsle se sítí pomocí stlačeného vzduchu
- Síť vybavena padákem pro zbrzdění pádu
- Dostřel 100 m
- Váha 12 kg

Dalším vhodným způsobem eliminace bezpilotních prostředků pro letiště se jeví dravci. Nezvolila jsem je proto, že jejich přítomnost na letišti by musela být trvalá a s tím jsou spojeny nároky na ošetřovatele, péči a krmení. Podle mého názoru se hodí spíše na velká letiště (jako Letiště Václava Havla) s nepřetržitým pohybem letadel, kde se jejich stálá přítomnost vyplatí.

Způsob detekce a eliminace, který jsem zvolila, zajistí nepřetržitou ochranu letiště před nežádoucími bezpilotními prostředky.

Závěr

Vývoj bezpilotních prostředků jde v dnešní době velmi rychle kupředu. S novými možnostmi musí držet krok i legislativa a bezpečnostní složky. Je tedy nutné nové trendy ve výrobě neustále sledovat a předcházet případným rizikům.

V první kapitole jsem definovala bezpilotní vzdušný prostředek a uvedla různé termíny, kterými se označuje. Popsala jsem kategorizaci dronů podle různých kritérií, z nich základní je dělení na vojenské a komerční, dále pak můžeme dělit podle vzletové hmotnosti, způsobu ovládní, typu nosné plochy atd. Stručně jsem popsala historii bezpilotních prostředků od horkovzdušných balonů s bombou po nejmodernější drony, kterými jsou dnes vyzbrojeny armády USA nebo Izraele. Dále jsem se zabývala možnostmi uplatnění dronů v civilním sektoru, které je velmi široké.

Ve druhé kapitole jsem se zabývala riziky, která vznikají provozem bezpilotních letounů. Mezi ta patří ohrožení dopravních letounů v okolí letišť. Zjistila jsem, že nebezpečných sblížení dronů s dopravními letouny každý rok přibývá. Uvedla jsem i několik konkrétních případů z různých koutů světa. Ty jsem našla na webových stránkách Aviation Herald, kde se každý den zaznamenávají veškeré nehody a kritické situace, které se udály v letecké dopravě. Proto je třeba letiště před narušením provozu drony chránit. Dalším rizikem je využití bezpilotních prostředků k terorismu, špionáži nebo pašování. I tyto případy se již objevily a je pravděpodobné, že jich bude přibývat, a tak se ochrana týká nejen letišť, ale například i elektráren, vládních budov nebo věznic.

Třetí kapitola je věnována legislativě. Provoz dronů je v České republice regulován Doplňkem X Předpisu L 2. Očekává se, že bude nahrazen nařízením agentury EASA. Cílem tohoto nařízení je zajistit jednotnou a vysokou úroveň bezpečnosti v EU. EASA představila návrh tohoto nařízení, ke kterému bylo možno podávat připomínky. Na rozdíl od Doplňku X jsou v návrhu EASA bezpilotní prostředky rozděleny nejen podle váhy, ale podle rizika způsobeného jejich provozem. Kategorie jsou tři: otevřená, specifická a certifikovaná. Otevřená kategorie je dále rozdělena na lety daleko od lidí, blízko lidí a nad lidmi. Od toho se pak odvíjí výška letu, požadavky na pilota a na technické parametry dronu.

Ve čtvrté kapitole jsem popsala metody detekce a eliminace bezpilotních prostředků. Způsobů existuje velké množství, pro každý prostor je vhodný jiný systém. Mezi detekční systémy patří

radiolokátory, optické senzory a akustické senzory. Výhodou radiolokátorů je jejich větší dosah, který má až několik kilometrů. U optických senzorů lze přiblížit obraz a identifikovat dron, případně zjistit jestli nese náklad. Akustický senzor se může dobře uplatnit v zastavěných prostorech, detekuje bezpilotní prostředek i v případě, že není v přímé viditelnosti senzoru, například za budovou. Některé firmy vyrábějí také kombinované systémy, ve kterých je například radiolokátor i kamera. Metody eliminace jsem rozdělila na mechanickou eliminaci a elektronické rušení. Do mechanické eliminace patří odchyt dronu dravcem, nebo chytání do sítě – buď vystřelením kapsle se sítí nebo pomocí jiného dronu, který nežádoucí dron pronásleduje, zachytí do sítě a snese na zem. Elektronické rušení se provádí rušičkami, které zabrání komunikaci mezi dronem a jeho pilotem nebo zabrání dronu, aby přijímal signál GPS, a ten tak ztratí orientaci.

V páté kapitole jsem navrhla řešení ochrany proti dronům na letišti Praha Kbely. Z tohoto letiště jsou přepravováni především představitelé státu, pacienti nebo humanitární pomoc. Stejně jako na jiných letištích zde hrozí nežádoucí výskyt dronu. Ten může být způsoben amatérským uživatelem, který si není vědom, že může způsobit nebezpečí. Dron se na letišti může vyskytnout také úmyslně, za účelem pořízení leteckých snímků, ale může se stát i nástrojem teroristů apod. Je tedy potřeba, aby se o výskytu dronu v prostorách letiště vědělo co nejdříve. Proto jsem jako metodu detekce zvolila radiolokátor, který má ve srovnání s ostatními metodami největší dosah. Pro zpřesnění identifikace dronu lze radar doplnit kamerou.

Pro účel eliminace dronu, ke které dojde, pokud se dron dostane do ochranného pásma letiště, jsem navrhla dva režimy provozu. Domnívám se, že v některých situacích je riziko větší a proto je zapotřebí mít v pohotovosti více zaměstnanců a být schopen reagovat rychleji. Pro běžný režim jsem zvolila systém mechanické eliminace Skywall 300, který lze umístit na střechu vozidla. Může se tak rychle přiblížit ke svému cíli, kterému zabrání v pohybu sítí vystřelenou pomocí speciální kapsle. Pád dronu zbrzdí padák. V režimu s vyšším rizikem by toto zařízení mohlo být posíleno podobným systémem od stejné firmy – Skywall 100. S ním se odpalují stejné kapsle se sítí z ruky. Střelci vybaveni touto zbraní by mohli být rozmístěni na kritických místech.

Do každého prostoru je vhodný jiný způsob eliminace. Rozdílně může vypadat řešení i na různých letištích. Na větším letišti, kde je mnohonásobně větší pohyb letadel, by se mohlo vyplatit použití dravců, kteří jsou speciálně vycvičeni na odchyt menších bezpilotních prostředků a několikrát se již osvědčili. O ty je ale nutné nepřetržitě pečovat.

Myslím si, že obecně by mohlo fungovat, kdyby se v legislativě zavedla povinnost pro prodejce amatérských bezpilotních prostředků informovat při prodeji své zákazníky o omezeních a

rizicích, která mohou způsobit, pokud nebudou dodržovat předpisy. Zároveň je seznámit s prostory, kde je létání zakázáno, například formou stručného a přehledného letáčku. Věřím, že spousta incidentů byla způsobena neznalostí, a že by tímto ubylo případů, kdy se bezpilotní prostředek připlete do cesty dopravnímu letounu.

Domnívám se, že na zabezpečení proti bezpilotním prostředkům by se měl klást nejen na letištích větší důraz. Drony jsou dostupné a stále více oblíbené mezi veřejností a mohou ohrozit bezpečnost, ať už úmyslně nebo neúmyslně.

Věřím, že poznatky, které jsem získala během tvorby této práce, budu mít příležitost využít i v budoucnu.

Použitá literatura a internetové zdroje

- [1] KARAS, Jakub a TICHÝ, Tomáš. *Drony*. Brno: Computer Press, 2016. ISBN: 978-80-251-4680-4
- [2] SOUŠEK, Tomáš. Bezpilotní systémy v AČR. *Letectví + kosmonautika*. 2/2018, s. 64-67. ISSN: 0024-1156
- [3] ČESKO. DOPLNĚK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY. In: Předpis L 2. 2017. Dostupné z: <https://lis.rlp.cz/predpisy/predpisy/dokumenty/L/L-2/data/effective/doplX.pdf>
- [4] ČTK. Drony a jejich využití [online]. 8. 3. 2018. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <http://www.protext.cz/zprava.php?id=26596>
- [5] VYAS, Kashyap. A Brief History of Drones: The Remote Controlled Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). In: *Interestinengineerig.com* [online]. 2. 1. 2018 [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/a-brief-history-of-drones-the-remote-controlled-unmanned-aerial-vehicles-uavs>
- [6] De Havilland Aircraft Museum. De Havilland dh82b Queen Bee [online]. [cit. 2018-06-15]. Dostupné z: <http://www.dehavillandmuseum.co.uk/aircraft/de-havilland-dh82b-queen-bee/>
- [7] VISINGR, Lukáš. Historie bezpilotních prostředků [online]. 2007 [cit. 2018-08-03]. lvisingr.czweb.org. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:p9thPFQdXEoJ:lvisingr.czweb.org/stazeni/atm/uav.rtf+historie+UAV&cd=9&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&lr=lang_cs
- [8] TETRAULT, Cam. A Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Draganfly.com* [online]. Mar 4 2009 [cit. 2018-06-15] Dostupné z: <http://www.draganfly.com/blog/a-short-history-of-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>
- [9] MIKA, Ladislav. Letecká provozní bezpečnost ve světové letecké dopravě v roce 2017. *Letectví + kosmonautika*. 2/2018, s. 68-69. ISSN: 0024-1156
- [10] Drone causes Gatwick Airport disruption. In: *BBC* [online]. 3 July 2017 [cit. 2018-05-12] Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-40476264>
- [11] HRADECKY, Simon. Incident: Argentinas B738 at Buenos Aires on Nov 11th 2017, drone strike. In: *The Aviation Herald* [online]. Nov 11th 2017, Nov 13th 2017 [cit. 2018-05-12] Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4b0e37e6&opt=0>

- [12] HRADECKY, Simon. Accident: Porter DH8D at Toronto on Nov 14th 2016, near collision with unmanned aerial vehicle. In: *The Aviation Herald* [online]. Nov 14th 2016 [cit. 2018-08-12]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4a0c1940&opt=0>
- [13] HRADECKY, Simon. Incident: Travel Service B738 at Prague on May 6th 2016, rejected takeoff due to drone sighting. In: *The Aviation Herald* [online]. May 11th 2016 [cit. 2018-08-12]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=498298a1&opt=0>
- [14] HRADECKY, Simon. Incident: British Airways A320 at London on Apr 17th 2016, drone impacts aircraft. In: *The Aviation Herald* [online]. Apr 17th 2016 [cit. 2018-08-12]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=4970605b&opt=0>
- [15] HRADECKY, Simon. Incident: KLM E190, F70 and Easyjet A319 at Amsterdam on Apr 1st 2016, flock of drones. In: *The Aviation Herald* [online]. Apr 1st 2016 [cit. 2018-08-12]. Dostupné z: <http://avherald.com/h?article=49642a2e&opt=0>
- [16] Japan radioactive drone: Tokyo police arrest man. In: *BBC.com*. 25 April 2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-asia-32465624>
- [17] Drone 'containing radiation' lands on roof of Japanese PM's office. In: *TheGuardian.com* [online]. Wed 11 Apr 2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/22/drone-with-radiation-sign-lands-on-roof-of-japanese-prime-ministers-office#img-2>
- [18] SCHMIDT, Michael a Michael SHEAR. A Drone, Too Small for Radar to Detect, Rattles the White House. In: *The New York Times* [online]. Jan. 26, 2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: https://www.nytimes.com/2015/01/27/us/white-house-drone.html?ref=us&_r=0
- [19] Znepokojená Paříž: Nad městem létají záhadné drony. In: *ČT 24 Česká televize* [online]. 25. 2. 2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1506618-znepokojena-pariz-nad-mestem-letaji-zahadne-drony>
- [20] I zloději začali používat drony. In: *Security Magazin* [online]. 26/05/2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.securitymagazin.cz/technologie/i-zlodeji-zacali-pouzivat-drony-1404045467.html>
- [21] Big rise in drone jail smuggling incidents. In: *BBC* [online]. 23 February 2016 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/uk-35641453>

- [22] LOPEZ, Oscar. Mexican Drug War News: DEA Reveals Cartels Use Drones To Transport Drugs From Mexico Into US. In: *Latin Times* [online]. Jul 10 2014 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.latintimes.com/mexican-drug-war-news-dea-reveals-cartels-use-drones-transport-drugs-mexico-us-190217>
- [23] V Mexiku se zřítíl narkodron, který nesl dvě a půl kila metamfetaminu. In: *iDnes.cz* [online]. 22. ledna 2015 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/paserakum-drog-spadl-u-hranic-s-usa-dron-preplneny-metamfetaminem-p98-/zahranicni.aspx?c=A150122_162303_zahranicni_fer
- [24] Man Smuggled 13 Pounds of Meth From Mexico Using a Drone. In: *NBCNews.com* [online]. Aug. 19 2017 [cit. 2018-07-15]. Dostupné z: <https://www.nbcnews.com/news/us-news/man-smuggled-13-pounds-meth-mexico-using-drone-n794146>
- [25] Notice of Proposed Amendment 2017-05 (A). European Aviation Safety Agency [online]. 2017 [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA%202017-05%20\(A\)_0.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA%202017-05%20(A)_0.pdf)
- [26] Notice of Proposed Amendment 2017-05 (B). European Aviation Safety Agency [online]. 2017 [cit. 2018-06-12]. Dostupné z: <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA%202017-05%20%28B%29.pdf>
- [27] MATOUŠ, Štěpán. *Palubní přístroje II*. Praha, 2005. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav letecké dopravy
- [28] Rozdělení radarů. In: *army.cz*. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/k31.htm
- [29] ELVIRA. In: *Robinradar.com* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://www.robinradar.com/products/all-systems/elvira/>
- [30] NO-DRONE. A RADAR BASED GAP-FILLING SURVEILLANCE SOLUTION FOR AIRPORTS, ENABLING IMPLEMENTATION OF UTM CONCEPTS. In: *idscorporation.com* [online]. 05/03/2018 [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <https://www.idscorporation.com/pf/no-drone/>
- [31] Sky Patriot. In: *Rinicom Ltd.* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: http://www.rinicom.com/images/pdf/Sky-Patriot_web.pdf
- [32] Products. Drone Detection. In: *Rinicom Ltd.* [online]. Dostupné z: <http://www.rinicom.com/products>
- [33] SOUŠEK, Tomáš. Komerční drony na mušce. *Letectví + kosmonautika*. 11/2017, s. 48-51. ISSN: 0024-1156

- [34] DISCOVAIR – RUGGED ACOUSTIC DRONE DETECTION. In: *Squarehead Technology* [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <http://www.sqhead.com/drone-detection/>
- [35] Deteck and Track Drones. In: *Patriot Risk Management* [online]. [cit. 2018-07-03]. Dostupné z: <http://www.patriotriskmanagement.org/dedrone.php#dedroneB14>
- [36] DeDrone's Drone Tracker – Detect Incoming Drones. In: *Small Drone Reviews* [online]. Dostupné z: <http://smalldronesreview.com/2016/07/04/dedrones-drone-tracker-detect-incoming-drones/>
- [37] ŠÍROVÁ, Tereza. Když je letadlo nejzranitelnější, zasahují dravci. V Praze odhání holuby. In: *Technet.cz*. 3. září 2012 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/letistni-ochrana-sokolnici-df3-/tec_technika.aspx?c=A120828_155833_tec_technika_sit
- [38] How we intercept drones, with birds of prey. In: *Guard From Above* [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://guardfromabove.com/how-we-intercept-drones/>
- [39] FAQ. In: *Guard From Above* [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://guardfromabove.com/faq-guard-from-above/>
- [40] Brusel a prezidenty střeží policejní orel, umí zneškodnit drony. In: *iDnes.cz*. 25. května 2017 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/brusel-nato-orel-dron-0tz-/zpr_nato.aspx?c=A170525_140106_zpr_nato_inc
- [41] Francouzská letiště ochrání orlí mušketyři, budou lovit zbloudilé drony. In: *iDnes.cz*. 17. února 2017 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: https://zpravy.idnes.cz/francie-drony-letiste-orli-ddc-/zahranicni.aspx?c=A170217_062158_zahranicni_ane
- [42] VOŽENÍLEK, David. Drony proti dronům. Japonci budou chytat podezřelé stroje sítěmi. In: *technet.iDnes.cz*. 16. prosince 2015 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: https://technet.idnes.cz/japonci-a-drony-0ga-/tec_technika.aspx?c=A151215_031418_tec_technika_dvz
- [43] GOODRICH, Marcia. Drone Catcher: "Robotic Falcon" can Capture, Retrieve Renegade Drones. In: *Michigan Tech* [online]. January 7, 2016 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <http://www.mtu.edu/news/stories/2016/january/drone-catcher-robotic-falcon-can-capture-retrieve-renegade-drones.html>
- [44] SkyWall. Capture drones – protect assets. In: *OpenWorks Engineering* [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: <https://openworksen지니어ing.com/images/skywall/SkyWall-Brochure.pdf>
- [45] REES, Mike. OpenWorks Engineering Announces Automatic Drone Capture System. *Unmannedsystemstechnology.com*. 25 Sep 2017 [cit. 2018-07-05]. Dostupné z:

<http://www.unmannedsystemstechnology.com/2017/09/openworks-engineering-announces-automatic-drone-capture-system/>

[46] COUNTER-UAS SOLUTIONS. In: *Battelle* [online]. [cit. 2018-07-05]. Dostupné z: https://www.battelle.org/docs/default-source/government-offerings/national-security/tactical-systems-vehicles/counter-uas-solutions.pdf?sfvrsn=7841ac88_6

[47] EGOZI, Arie. Rafael unveils "Drone Dome" anti-UAV systém. In: *Flightglobal.com*. 12 April, 2016 [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <https://www.flightglobal.com/news/articles/rafael-unveils-drone-dome-anti-uav-system-424095/>

[48] AUDS Anti-UAV Defence Systém. In: *Blighter Surveillance Systems* [online]. [cit. 2018-07-06]. Dostupné z: <http://www.blighter.com/products/auds-anti-uav-defence-system.html>

[49] MINISTERSTVO OBRANY. Hlavní úkoly 24.zDL Praha Kbely. *Zd.rmy.cz*. [cit. 2018-08-06]. Dostupné z: <http://www.zdl.army.cz/hlavni-ukoly-24zdl-praha-kbely>

[50] AIP. AD 2. LKKB – KBELY [online]. 10 NOV 16 [cit. 2018-08-06]. Dostupné z: http://lis.rlp.cz/ais_data/www_main_control/frm_cz_aip.htm

[51] ÚŘAD PRO CIVILNÍ LETECTVÍ. Co jsou to ochranná pásma letišť? [online]. [cit. 2018-08-06]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-jsou-to-ochranna-pasma-letiste>

[52] MINISTERSTVO OBRANY. Letiště Kbely. Opatření obecné povahy, kterým se zřizují ochranná pásma vojenského letiště Kbely [online]. 6. března 2012 [cit. 2018-08-06]. Dostupné z: <http://www.osd.army.cz/letiste-kbely>

Seznam obrázků

- Obr. 1 Poškozená část letounu
- Obr. 2 Detail poškození letounu
- Obr. 3 Místo zpozorování dronů na letišti Schiphol
- Obr. 4 Dron s radioaktivním materiálem na střeše úřadu japonského premiéra
- Obr. 5 Dron přepravující pervitin, 2015
- Obr. 6 Sekundární radar
- Obr. 7 Systém Elvira společnosti RobinSystems
- Obr. 8 Systém NO-DRONE společnosti IDS
- Obr. 9 Sky Patriot
- Obr. 10 Drone Tracker
- Obr. 11 Rozšířený systém Dedrone
- Obr. 12 Odchyt dronu dravcem
- Obr. 13 Dron japonské policie
- Obr. 14 Dron s vystřelovací sítí vyvinutý na Michigan Technological University
- Obr. 15 Skywall 100
- Obr. 16 Skywall 300
- Obr. 17 DroneDefender V2
- Obr. 18 Drone Dome
- Obr. 19 Anti-UAV Defence System, Blighter
- Obr. 20 Provoz bezpilotních prostředků v okolí řízeného letiště
- Obr. 21 Legenda k obr. 20
- Obr. 22 Ochranné pásmo s výškovým omezením staveb

Seznam tabulek

Tab. 1 Otevřená kategorie Možnost O1

Tab. 2 Otevřená kategorie Možnost O2

Tab. 3 Otevřená kategorie Možnost O3

Tab. 4 Základní údaje Letiště Kbely