

Metody likvidace dronů

Drone Disposal Methods

Bc. Martin Cigánek

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin Cigánek**
Osobní číslo: **A14317**
Studijní program: **N3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Bezpečnostní technologie, systémy a management**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Metody likvidace dronů**
Téma anglicky: **Drone Disposal Methods**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární rešerši pojednávající o problematice dronů.
2. Zpracujte legislativní podmínky pro drony v ČR.
3. Uveďte možnosti nezákonného použití dronů.
4. Navrhněte způsoby detekce dronu v konkrétním prostoru.
5. Navrhněte metody, jak lze konkrétní dron zlikvidovat.
6. Naznačte další vývoj v technologiích dronů.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. GUNDLACH, Jay. **Designing unmanned aircraft systems: a comprehensive approach**. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, c2012, xli, 805 p. ISBN 9781600868436.
2. ZALOGA, Steve a Ian PALMER. **Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare, 1917–2007**. New York: Osprey, 2008, 48 p. ISBN 1846032431.
3. DRAXLER, Karel. **Aerodynamika, konstrukce a systémy letounů: studijní modul 11**. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. Učební texty pro teoretickou přípravu osvědčujícího personálu údržby letadel dle předpisu JAR-66. ISBN 80-7204-367-6.
4. ED. BY KIMON P. VALAVANIS. **Advances in unmanned aerial vehicles state of the art and the road to autonomy**. Aktualisierete. Dordrecht: Springer, 2008. ISBN 9781402061141.
5. RABBATH, Camille Alain a N LÉCHEVIN. **Safety and reliability in cooperating unmanned aerial systems**. New Jersey: World Scientific, 2010, ix, 223 p.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Rudolf Drga, Ph.D.

Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

5. února 2016

Termín odevzdání diplomové práce:

16. května 2016

Ve Zlíně dne 5. února 2016



doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



doc. RNDr. Vojtěch Křesálek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na diplomové/bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá drony a především pak metodami jejich likvidace. Teoretická část práce je zaměřena na historii a rozdělení bezpilotních letadel. Následuje kapitola o platných legislativních podmínkách pro drony v České republice. Dále jsou uvedeny možnosti nezákonného použití bezpilotních letadel.

Praktická část se zabývá způsoby detekce dronů a možnostmi jejich likvidace. Jsou v ní rozebírány jednotlivá technická řešení sloužící k eliminaci konkrétních bezpilotních letadel. Poslední kapitola uvádí možnosti dalšího vývoje v technologiích dronů.

Klíčová slova: dron, bezpilotní letadlo, metody likvidace, způsoby detekce

ABSTRACT

This master's thesis deals with drones and especially with methods of their disposal. The theoretical part is aimed at history and classification of unmanned aircraft. The following chapter is about current legislative conditions of using drones in the Czech Republic. In addition, the possibilities of illegal use of unmanned aircraft are explicated.

The practical part deals with drone detection and disposal methods. Individual technical solution for elimination of specific unmanned aircraft, are analysed in that part. The possibilities of future development in drone technology are described in the last chapter.

Keywords: drone, unmanned aircraft, disposal methods, detection methods

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Rudolfu Drgovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, kritické připomínky a trvalý zájem, který věnoval mé práci. Rovněž bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého mého studia. Dík patří také mé přítelkyni a to především za její trpělivost a pochopení.

„Letectví je důkazem, že když opravdu chceme, jsme schopni dosáhnout i toho, co se nám zdá nemožné“

Eddie Rickenbacker

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DEFINICE POJMU DRON	11
2 HISTORIE	13
3 DĚLENÍ	16
3.1 DĚLENÍ PODLE HLAVNÍCH VÝKONNOSTNÍCH CHARAKTERISTIK	16
3.1.1 Podle hmotnosti.....	16
3.1.2 Podle výdrže a doletu	16
3.1.3 Podle maximální výšky letu	17
3.1.4 Podle rychlosti letu.....	17
3.2 DĚLENÍ PODLE POHONU	17
3.2.1 Bez pohonu.....	17
3.2.2 S pohonem.....	18
3.3 DĚLENÍ PODLE FUNKCE	18
3.4 DĚLENÍ PODLE DOPLŇKU X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY PŘEDPISU L 2 – PRAVIDLA LÉTÁNÍ	19
3.4.1 Dle maximální vzletové hmotnosti	19
3.4.2 Dle účelu použití	19
3.4.3 Podle způsobu provozování	19
4 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO DRONY V ČR	20
4.1 DOPLŇEK X – BEZPILOTNÍ SYSTÉMY	20
4.1.1 Vysvětlení některých pojmů z tabulek 1 a 2	25
4.2 DODATEK 5 – VOLNÉ BALÓNY BEZ PILOTA NA PALUBĚ SE ZÁTĚŽÍ.....	28
4.3 DOPLŇEK R – PODMÍNKY PRO PROVOZ BALÓNŮ BEZ PILOTA NA PALUBĚ	30
4.4 DODATEK 4 – SYSTÉMY DÁLKOVĚ ŘÍZENÉHO LETADLA	31
5 MOŽNOSTI NEZÁKONNÉHO POUŽITÍ DRONŮ	32
5.1 TERORISMUS	32
5.2 NARUŠOVÁNÍ SOUKROMÍ A ŠPIONÁŽ	34
5.3 PAŠERÁCTVÍ.....	35
5.4 HACKING.....	36
5.5 VANDALISMUS	37
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
6 ZPŮSOBY DETEKCE DRONU V KONKRÉTNÍM PROSTORU	39
6.1 DETEKCE AKTIVNÍM RADIOLOKÁTOREM	40
6.2 DETEKCE PASIVNÍM RADIOLOKÁTOREM	42
6.3 AKUSTICKÁ DETEKCE.....	44
6.3.1 Omnidirectional sensor	45
6.3.2 Long-range sensor	46

6.4	INTELIGENTNÍ VIDEOANALÝZA.....	46
6.5	TERMOGRAFICKÁ DETEKCE.....	48
6.6	KOMBINOVANÁ DETEKCE.....	48
6.6.1	Data Sheet DroneTracker V 2.0.....	48
7	DESTRUKTIVNÍ METODY ELIMINACE DRONŮ.....	50
7.1	LIKVIDACE DRONŮ PROTILETADLOVOU TECHNIKOU	50
7.1.1	Raytheon FIM-92A Stinger.....	51
7.2	LIKVIDACE DRONŮ STŘELNÝMI ZBRANĚMI.....	52
7.3	ELIMINACE DRONŮ LASEROVÝMI ZBRANĚMI.....	53
7.3.1	AN/SEQ-3 Laser Weapon System.....	54
8	NEDESTRUKTIVNÍ METODY ELIMINACE DRONŮ	56
8.1	ELIMINACE DRONŮ POMOCÍ SÍTĚ	56
8.1.1	Skywall 100.....	57
8.2	ELIMINACE DRONU DRONEM	58
8.2.1	Excipio	60
8.3	ELIMINACE DRONŮ RUŠENÍM JEJICH KOMUNIKACE.....	61
8.3.1	Battele DroneDefender.....	62
8.4	PŘEVZETÍ KONTROLY NAD NEŽÁDOUCÍM DRONEM	64
9	DALŠÍ VÝVOJ V TECHNOLOGIÍCH DRONŮ	67
9.1	VOJENSKÉ DRONY	67
9.2	KOMERČNÍ DRONY	68
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	83
	SEZNAM OBRÁZKŮ	85
	SEZNAM TABULEK.....	86

ÚVOD

Kořeny vzniku leteckých prostředků ovládaných bez lidské posádky sahají až do poloviny 19. století. V roce 1849 použilo Rakousko horkovzdušné balóny bez pilota na palubě k bombardování italského města Benátky. Přesto, že nasazení takzvaných „Rakouských balónů“ bylo úspěšné, nesklidila tato technika ve světě žádný ohlas a další vývoj bezpilotních zařízení tak na několik let utichl.

Jak už tomu však u podobných technologií bývá, jejím hnacím motorem byly válečné konflikty. Další příběh bezpilotních prostředků se tak začal psát v průběhu první světové války. Roku 1916 spatřil světlo světa první bezpilotní letoun Ruston Proctor Aerial Target. Brzy jej však následovalo několik dalších typů, z nichž většina sloužila jako vzdušná torpéda. Další pokrok přinesla druhá světová válka, ve které byly použity bezpilotní bombardovací letouny. Na vývoji dronů se podílela také studená válka a válka ve Vietnamu. V 80. a 90. letech 20. století pak došlo k obrovskému rozvoji vojenských bezpilotních letadel. Vznikl například letoun MQ-1 Predator.

Největší přelom však nastal až s příchodem 21. století, kdy se bezpilotní technologie začala rozšiřovat i do komerčního sektoru. Do té doby se totiž jednalo o záležitost ryze vojenskou, jejíž civilní použití vzbuzovalo zájem pouze u hrstky nadšenců. To se však s technologickým pokrokem a miniaturizací těchto prostředků velmi rychle změnilo. Začaly se používat, jak pro sportovní a rekreační účely, tak i pro letecké práce - zejména pro pořizování videí. Dále se využívají pro výzkumnou činnost a své uplatnění mají také u složek IZS.

V současné době existuje několik stovek druhů komerčních dronů a jsou dostupné téměř pro každého. Tato skutečnost však vyvolává řadu bezpečnostních otázek. V nesprávných rukou totiž bezpilotní letadla představují závažnou hrozbu.

Diplomová práce se kromě dronů samotných bude zabývat jejich legislativou a možnostmi, jak lze tyto prostředky nezákonně použít. Dále bude řešena detekce, neboť jen těžko si lze představit, jak by mohlo dojít k eliminaci zařízení, jehož přítomnost není známa. Likvidace konkrétních bezpilotních letadel pak bude hlavní náplní této práce. Budou řešeny jak destruktivní, tak nedestruktivní metody, kterými je možné daný dron eliminovat. Posledním bodem práce pak bude naznačení dalšího očekávaného vývoje v bezpilotních technologiích.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DEFINICE POJMU DRON

Pojem dron vznikl počeštěním anglického drone, což je jiné označení pro UAV – Unmanned Aerial Vehicle. Jedná se tedy o létající prostředek bez posádky, který může být řízen na dálku, nebo může fungovat samostatně buď na základě předem naprogramovaného leteckého plánu, nebo s využitím dynamických autonomních systémů. Existují také prostředky poloautomatické, které jsou při letu ovládány manuálně člověkem, ale zároveň používají vlastní autonomní prostředky ke stabilizaci a zjednodušení letu [1].

Pod pojem dron spadají letadla různých velikostí a vlastností. Řadí se sem jak malé drony, používané zejména pro komerční účely, tak i drony armádní, které se svou velikostí mohou rovnat běžně provozovaným letadlům.



Obrázek 1 Dron MQ – 9 Reaper vystřelující raketu [2]

Například podle definice Ministerstva obrany Spojených států amerických, nepatří pod označení UAV pouze bezpilotní prostředky operující ve vzduchu, ale i prostředky pohybující se po zemském povrchu, po vodě či pod vodou. Obsahem této definice je také to, že vojenské naváděné střely či torpéda, které sice mohou být řízeny vzdáleně a jsou bezpilotní, pod označení UAV nespádají. Je to z toho důvodu, že tyto prostředky slouží pouze pro jedno použití [1].

Úřad pro civilní letectví ČR definuje Bezpilotní letadlo takto:

„Bezpilotní letadlo (UA) je letadlo určené k provozu bez pilota na palubě (může se jednat a většinou se jedná o součást bezpilotního systému). V kontextu legislativního rámce České republiky se za bezpilotní letadla považují všechna bezpilotní letadla s výjimkou modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nepřesahující 20 kg [3]“.

Dále definuje bezpilotní systém:

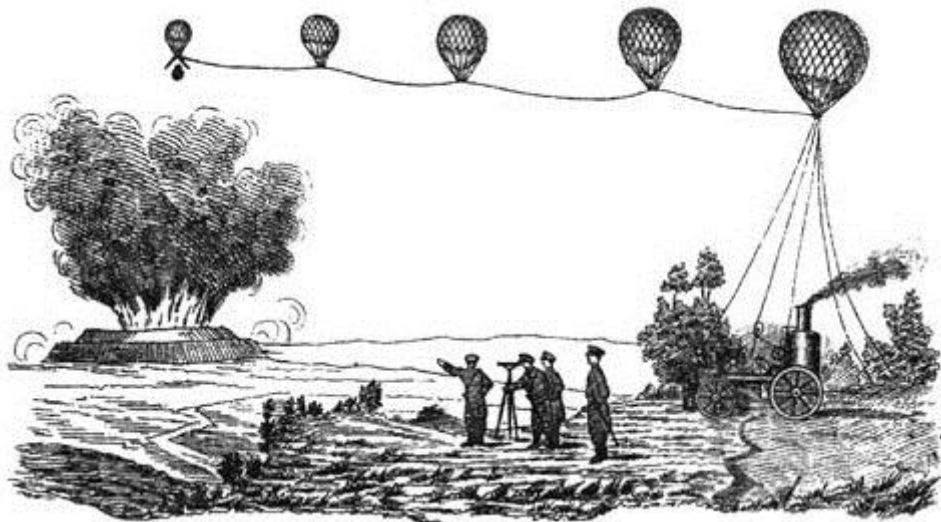
„Bezpilotní systém (UAS) je systém skládající se z bezpilotního letadla, řídicí stanice a jakéhokoliv dalšího prvku nezbytného k umožnění letu, jako například komunikačního spojení a zařízení pro vypuštění a návrat. Bezpilotních letadel, řídicích stanic nebo zařízení pro vypuštění a návrat může být v rámci bezpilotního systému více [3]“.

Pro vysvětlení rozdílu mezi bezpilotním letadlem a modelem pak definuje i model letadla:

„Model letadla Letadlo, které není schopné nést člověka na palubě, je používané pro soutěžní, sportovní nebo rekreační účely, není vybaveno žádným zařízením umožňujícím automatický let na zvolené místo, a které, v případě volného modelu, není dálkově řízeno jinak, než za účelem ukončení letu nebo které, v případě dálkově řízeného modelu, je po celou dobu letu pomocí vysílače přímo řízené pilotem v jeho vizuálním dohledu [3]“.

2 HISTORIE

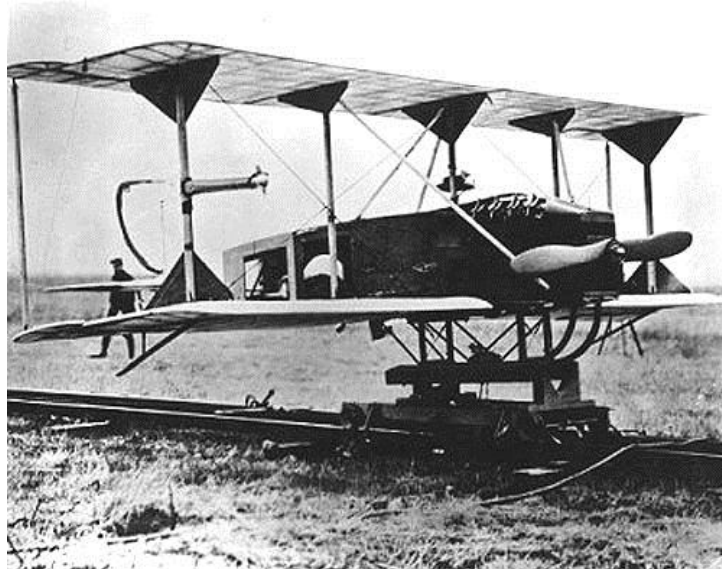
Za prvního předchůdce dronů se mohou považovat takzvané „Rakouské balóny“. Jde o první zaznamenané použití létajícího zařízení bez posádky, které bylo na dálku řízené člověkem. Jednalo se o horkovzdušné balóny naložené výbušninami, pomocí kterých Rakousko v roce 1849 zaútočilo na italské město Benátky. Některé z balónů byly uneseny proudem větru a vrátili se zpět na rakouskou stranu hranic. Nálože balónů, které se podařilo dopravit nad město Benátky, byly odpáleny pomocí elektromagnetu. Ten byl ovládán pomocí dlouhého, izolovaného měděného drátu s galvanickou baterií na konci. Po odpálení byly nálože upuštěny svisle k zemi a po kontaktu s ní explodovaly [4, 5].



Obrázek 2 Rakouské balóny [5]

První bezpilotní letadlo bylo postaveno během první světové války v roce 1916. Neslo název Ruston Proctor Aerial Target a bylo řízeno pomocí rádiových vln. Později mělo sloužit k útokům na vzducholodě [6].

Později téhož roku byl proveden první zkušební let automatického letadla Hewitt-Sperry, také známého jako „letící bomba“. Svou přezdívku si vysloužilo z důvodu použití jako vzdušné torpédo. Toto letadlo bylo řízeno pomocí gyroskopů vynalezených Elemrem Sperrym. Svým úspěchem pak inspirovalo USA k dalšímu výzkumu vzdušných torpéd a o rok později tak vznikl Kettering Bug [7].



Obrázek 3 Vzdušné torpédo Hewitt-Sperry 1918 [7]

V meziválečném období (roku 1935) bylo ve Velké Británii vyvinuto rádiově ovládané bezpilotní letadlo DH.82B Queen Bee (v překladu včelí královna). Odtud pak zkomolením názvu vznikl pojem drone (trubec). Tento pojem pro označení UAV se rychle uchytil a vydržel až do současnosti [8].

Bezpilotní systémy se postupem času zlepšovaly. Například během druhé světové války použily Spojené státy americké dálkově řízené bombardovací letouny typu B-17 a B-24 k bombardování německých základen. V roce 1942 byl pomocí dronu proveden první úspěšný útok na nepřátelský torpédoborec. Útok byl realizován odpálením torpéda z dronu vzdáleného 20 mil od svého cíle. Vývoj dronů hodně pokročil také během studené války a války ve Vietnamu. Za jeden z přelomových okamžiků se dá považovat rok 1964, kdy americké letectvo nasadilo ve Vietnamu letouny Ryan Q-2 Firebee. Ty se osvědčily tak, že bylo postupně vyvinuto více než 20 variant tohoto letounu sloužící pro rozličné účely. V roce 1979 byl zase poprvé použitý bezpilotní systém pro fotogrammetrii [2, 9, 10].

Od 80. let 20. století se začaly vyvíjet UAV s dlouhou dobou letu. Šlo o velmi lehké letouny poháněné pomocí fotovoltaických článků. Vše vyvrcholilo v roce 1998, kdy bezpilotní letoun Laima za dobu 26 hodin a 45 minut přeletěl Atlantický oceán. Start a přistání letounu bylo provedeno manuálně, nicméně zbytek letu probíhal v autonomním režimu. Dron byl během letu schopen monitorovat meteorologické podmínky nad Atlantickým oceánem a odesílat tato data v reálném čase pomocí satelitu na základnu [11, 17].



Obrázek 4 Ryan BQM – 34 Firebee [12]



Obrázek 5 UAV Laima [17]

V dalším období pak pomyslnou pochodeň ve vývoji dronů přebral Izrael. Jeho ozbrojené síly jako první přijaly drony za standartní součást jejich výbavy. Zejména v kategorii taktických letounů, sloužících pro nasazení přímo na bojišti se stal Izrael supervelmocí. V USA se však na vývoji bezpilotních letounů také intenzivně pracovalo a nakonec vytvořily několik typů UAV právě ve spolupráci s Izraelem. Jedná se například o typy RQ-2 Pioneer a RQ-5 Hunter. V roce 1991 úspěšně nasadila USA drony v Iráku [13].

Od roku 2001 začíná období označované jako zlatá éra dronů, které trvá až do současnosti. V tomto roce zároveň provedl svůj první let bezpilotní letoun MQ-9 Reaper (viz obrázek 1), který je nejspíše nejznámějším armádním dronem současnosti. Nicméně oproti dřívějším éram, kdy se vyvíjely zejména drony pro armádní účely, nastává obrovský rozmach dronů komerčních [2, 10].

3 DĚLENÍ

Drony se dají rozčlenit podle spousty kritérií. Primární dělení však je podle jejich účelu použití a to na vojenské a civilní. Toto rozdělení však nic nevyovídá o velikosti, konstrukci, či ostatních parametrech bezpilotního letadla. Proto existují další způsoby rozdělení dle různých kritérií, jako je například vzletová hmotnost, velikost, rychlost, nosnost, typ pohonné jednotky a podobně [14].

Možností dělení bezpilotních letadel je celé řada a většina z nich se navíc vzájemně překrývá. Z tohoto důvodu jsou vybrány a dále podrobněji rozebrány tyto čtyři způsoby dělení:

- podle hlavních výkonnostních charakteristik,
- podle pohonu,
- podle funkce,
- podle Doplnku X – Bezpilotní systémy Předpisu L2 – Pravidla létání [1].

3.1 Dělení podle hlavních výkonnostních charakteristik

3.1.1 Podle hmotnosti

- Mikro – méně než 5 kg,
- lehké – 5 až 50 kg,
- střední – 50 – 200 kg,
- těžké – 200 – 2 000 kg,
- super těžké – více než 2 000 kg [14].

3.1.2 Podle výdrže a doletu

- Výdrž
 - nízká – méně než 5 hodin,
 - střední – 5 až 24 hodin,
 - vysoká – více než 24 hodin [14].

- Dolet
 - malý – méně než 100 km,
 - střední – 100 až 400 km,
 - střední až velký – 400 až 1 500 km,
 - velký – více než 1 500 km [14].

3.1.3 Podle maximální výšky letu

- Nížká – méně než 1 000 m,
- střední – 1 000 až 10 000 m,
- vysoká – více než 10 000 m [14].

3.1.4 Podle rychlosti letu

- Subsonické – méně než 0,8 Ma,
- transsonické – 0,8 až 1,2 Ma,
- supersonické – 1,2 až 5 Ma,
- hypersonické – více než 5 Ma [15].

3.2 Dělení podle pohonu

3.2.1 Bez pohonu

- Kluzáky
 - vytažené impulsem z pozemní stanice,
 - vytažené za letounem,
 - vynesené letounem [16].

- Náporové kluzáky
 - tažené za pozemním prostředkem,
 - tažené za letounem [16].

3.2.2 S pohonem

- Elektrický
 - střídavý motor,
 - stejnosměrný motor [16].

- Spalovací
 - zážehový,
 - dvoutaktní,
 - čtyřtaktní,
 - Wankelův,
 - pulzační,
 - se spalovací turbínou,
 - jednoproudový,
 - dvouproudový,
 - turbovrtulový,
 - turbodmychadlový,
 - náporový,
 - raketový,
 - na tuhá paliva,
 - na kapalná paliva [16].

3.3 Dělení podle funkce

- Cvičné cíle – tato kategorie je určena především k vojenskému výcviku. Představuje pozemní a vzdušné cíle, které stimulují nepřátelské střely nebo letadla.
- Průzkumné – mají za cíl shromažďovat informace o bojišti bez rizika ztrát lidských průzkumníků.
- Bojové – využívají se k útokům v těžko dostupných oblastech nebo v oblastech rizikových, kde hrozí ztráty na lidských životech.
- Logistické – jedná se o speciální bezpilotní letadla, která jsou určena pro plnění různých logistických úkolů.
- Výzkumné – slouží pro vědecké účely a pomáhají k dalšímu vývoji těchto prostředků.

- Civilní a komerční – jsou navrženy pro civilní nebo komerční účely (např. pořizování fotografií).
- Multifunkční – zahrnují více než jednu z výše uvedených oblastí, tento typ bezpilotních letadel začíná v dnešní době převažovat [18].

3.4 Dělení podle Doplnku X – Bepilotní systémy Předpisu L 2 - Pravidla létání

Jedná se o rozdělení, které je uvedeno v doplňku X o bezpilotních systémech leteckého Předpisu L 2 o pravidlech létání.

3.4.1 Dle maximální vzletové hmotnosti

- $\leq 0,91$ kg
- $> 0,91$ kg a < 7 kg
- ≥ 7 kg a ≤ 20 kg
- > 20 kg [19].

3.4.2 Dle účelu použití

- Rekreačně sportovní,
- výtěžné, experimentální, výzkumné,
- bezpilotní letadlo provozované mimo dohled pilota [19].

3.4.3 Podle způsobu provozování

- Provozované v dohledu pilota,
- provozované mimo dohled pilota [19].

4 LEGISLATIVNÍ PODMÍNKY PRO DRONY V ČR

Provoz bezpilotních letadel v České republice upravuje zejména Doplněk X – Bezpilotní systémy Předpisu L 2 – Pravidla létání [20].

Pravidla pro provoz létajících balónů bez pilota na palubě upravuje Dodatek 5 - Volné balóny bez pilota na palubě se zátěží a dále Doplněk R - Podmínky pro provoz balónů bez pilota na palubě (oba dokumenty jsou součástí Předpisu L 2 - Pravidla létání) [20].

Mezinárodní provoz bezpilotních systémů upravuje Dodatek 4 - Systémy dálkově řízeného letadla Předpisu L 2 - Pravidla létání [20].

Závaznost výše uvedených dokumentů vyplývá ze zákona č. 49/1997 Sb., o civilním letectví ve znění pozdějších předpisů a dále z prováděcí vyhlášky k tomuto zákonu (č. 108/1997 Sb.) [20].

Podmínky provozu a nutnost získání povolení k létání letadla bez pilota na palubě pak vyplývají z § 52 leteckého zákona [20].

4.1 Doplněk X – Bezpilotní systémy

Jak už bylo naznačeno výše, jedná se o nejdůležitější dokument upravující provoz bezpilotních systémů. Byl vydán Leteckou informační službou (LIS), která spadá pod Ministerstvo dopravy České republiky a je platný od 4. 12. 2014 [19].

Doplněk X obsahuje následujících 17 ustanovení:

1. Definice

- definuje pojmy autonomní letadlo, bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla (viz kapitola 1 Definice pojmu dron).

2. Rozsah působnosti

- stanovuje, kterých prostředků se předpis týká.

3. Bezpečnost

- udává podmínky pro bezpečný provoz bezpilotního letadla.

4. Dohled pilota

- pokud ÚCL nepovolí jinak, musí být bezpilotní letadlo v přímém dohledu pilota.

5. Odpovědnost

- pilot je například povinen zaznamenávat informace o letu do deníku letadla nebo rovnocenného dokumentu (datum letu, jméno pilota, označení letadla, místo vzletu a přistání, doba letu, atd.).

6. Ukončení letu

- bezpilotní letadlo musí pilotovi umožnit zasáhnout do průběhu letu nebo jej ukončit za nepříznivých okolností, které by mohly vést k ohrožení. Bepilotní letadlo s maximální vzletovou hmotností vyšší než 0,91 kg musí být vybaveno vestavěným bezpečnostním systémem, který v případě poruchy let ukončí.

7. Prostory

- stanovuje požadavky na prostory, v nichž lze let bezpilotního letadla nebo modelu letadla provádět.

8. Ochranná pásma

- let bezpilotního letadla nesmí být prováděn v ochranných pásmech stanovených příslušnými právními předpisy podél nadzemních dopravních staveb, tras nadzemních inženýrských nebo telekomunikačních sítí, uvnitř zvláště chráněných území v okolí vodních zdrojů a objektů důležitých pro obranu státu.

9. Meteorologická minima

- ve vzdušném prostoru třídy G smí být let prováděn pouze vně oblaků a v prostoru jiné třídy jen v minimální vzdálenosti od nich (1 500 m horizontálně a 300 m vertikálně).

10. Nebezpečný náklad

- bezpilotní letadlo nesmí být použito k přepravě nebezpečných látek nebo zařízení, která by mohla způsobit obecné ohrožení, kromě provozních náplní v množství přiměřeném účelu letu.

11. Shazování nákladu

- bezpilotní letadlo nesmí být použito ke shazování předmětů za letu, kromě leteckých veřejných vystoupení a soutěží, včetně příprav na ně, jsou-li přijata přiměřená opatření proti ohrožení dle ustanovení 3.

12. Pohyb pilota

- bezpilotní letadlo nesmí být bez povolení ÚCL provozováno při současném pohybu pilota pomocí technického zařízení.

13. Letecká veřejná vystoupení

- veřejná letecká vystoupení bezpilotních letadel musí být schválena Úřadem pro civilní letectví.

14. Ostatní legislativa

- souhrn právních předpisů, v jejichž souladu musí provoz bezpilotního letadla probíhat.

15. Pohon

- k provozu bezpilotního letadla nesmí být použit pulzační nebo raketový motor, s výjimkou použití raketového pohonu pouze za účelem provedení vzletu.

16. Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla

- při provozu bezpilotního letadla musí být dodrženy podmínky uvedeny níže v Tabulkách 1 a 2 (pro lepší přehlednost).

17. Hlášení událostí

- povinnost hlásit události spojené s bezpilotním letadlem se vztahuje na všechna bezpilotní letadla se schválenou konstrukcí, nebo letadla s provozním povolením.

Zpracováno podle [19].

Tabulka 1 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla – 1. Část [19]

ř.		≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg	
		rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano
6	označení UA:	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano
	ID štítek / ID štítek + pozn. značka				
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná
8	pojištění:	ne / 0,25	dle nař. č. 785/20041	ne / 1	dle nař. č. 785/20041
	běžný provoz / LVV (mil. Kč)				
9	dozor	ne	ne	ne	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano
12	hlášení událostí	ne	ano	ne	ano

Tabulka 2 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla – 2. Část [19]



ř.		7 – 20 kg		> 20 kg		bepilotní letadlo provozované mimo dohled pilota
		rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	rekreačně sportovní	výdělečné, experimentální, výzkumné	
1	evidence letadla	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LČPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA:	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
	ID štítek / ID štítek + pozn. značka					
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná, ale minimálně	bezpečná, ale minimálně	bezpečná, ale minimálně	bezpečná, ale minimálně	bezpečná, ale minimálně
		50/100/150	50/100/150	50/100/150	50/100/150	50/100/150
8	pojištění:	ne / 3	dle nař. č. 785/20041	dle nař. č. 785/20041	dle nař. č. 785/20041	dle nař. č. 785/20041
	běžný provoz / LVV (mil. Kč)					
9	dozor	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení událostí	ne	ano	ano	ano	ano

4.1.1 Vysvětlení některých pojmů z tabulek 1 a 2

- Evidence letadla
 - tato evidence se vztahuje na konkrétní bezpilotní letadlo a je nutná zejména pro využívání letadla k leteckým pracím. Pro evidenci letadla je nutné podat na ÚCL žádost o vydání povolení k létání letadla bez pilota. Správní poplatek činí 4 000 Kč (2 000 Kč v případě modelu letadla se vzletovou hmotností větší než 20 kg) [21].
- Evidence pilota
 - evidence pilota je vedena současně s evidencí letadla po vydání povolení k létání letadla bez pilota [19].
- Praktický a teoretický test pilota
 - podmínkou evidence pilota je prokázání základní schopnosti bezpečně řídit bezpilotní letadlo. Pilot také musí prokázat teoretické znalosti v požadovaném rozsahu stanoveném ÚCL [19].
- Povolení k létání
 - nejprve je uděleno Povolení k létání letadla bez pilota s omezením „pilot – žák“ a po jeho nabytí právní moci je vydáno Povolení k létání letadla bez pilota (stále se stejným omezením). Pro zrušení těchto omezení je nutné si podat žádost a splnit výše uvedený test pilota. Platí se správní poplatek 400 Kč (200 Kč v případě modelu letadla se vzletovou hmotností větší než 20 kg) [21].
- Povolení k LP a LČPVP
 - Pro získání povolení k leteckým pracím nebo leteckým činnostem pro vlastní potřebu je nezbytné podat žádost pomocí formuláře a uhradit správní poplatek 10 000 Kč [21].
- ID štítek
 - identifikační štítek musí být z ohnivzdorného materiálu a obsahuje jméno a telefonní číslo provozovatele [19].
- Poznávací značka
 - je-li přidělena poznávací značka, pak tato značka musí být také součástí ID štítku [19].

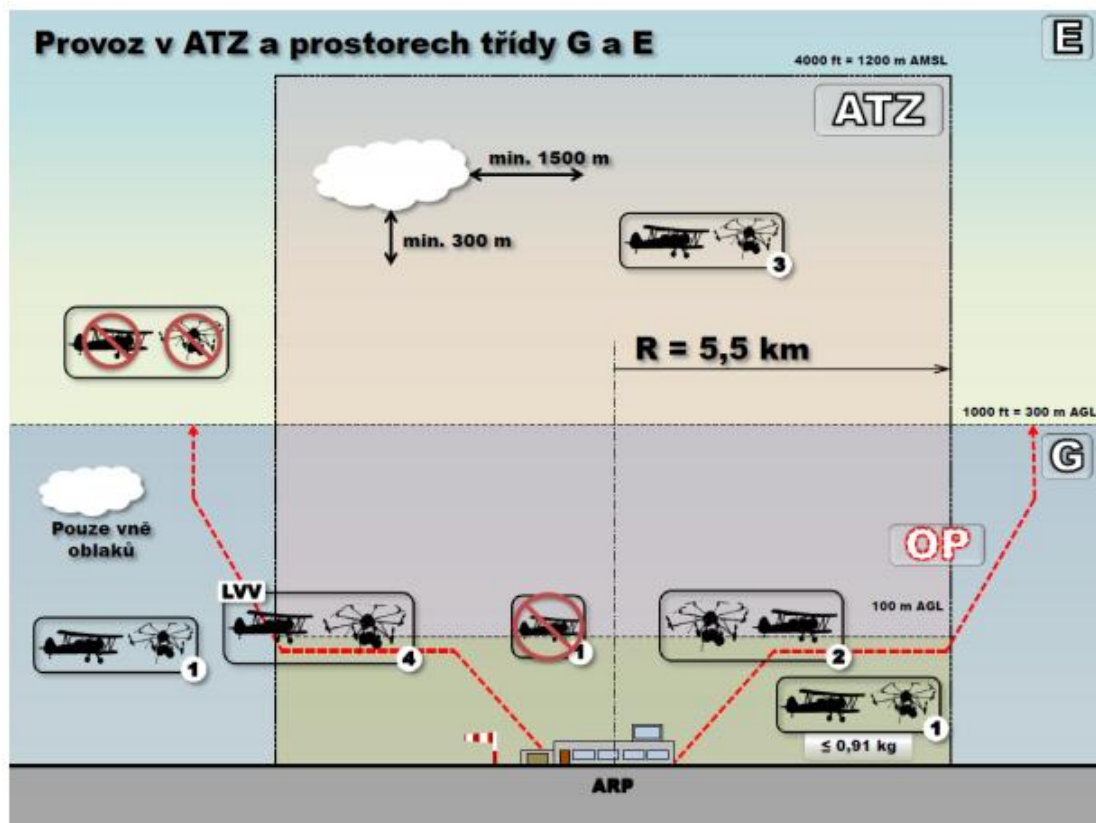
- Minimální vzdálenost
 - v průběhu vzletu a přistání se bezpilotní letadlo nesmí přiblížit k jakékoliv jiné osobě než je jeho pilot na horizontální vzdálenost menší než 50 m. Během letu pak musí od jakýchkoliv osob, prostředků a staveb (které nejsou součástí předmětného provozu) udržovat horizontální vzdálenost alespoň 100 m. Za letu se také nesmí přiblížit k hustě osídlenému prostoru na menší horizontální vzdálenost než je 150 m [19].
- Pojištění
 - minimální výše pojistné částky, na kterou musí být sjednáno individuální nebo hromadné pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem bezpilotního letadla [19].
- Dozor
 - počáteční letové zkoušky musí být dozorovány ÚCL (případně osobou ÚCL pověřenou) [19].
- „Failsafe“ systém
 - tento systém umožňuje ukončení letu v případě selhání řídicího a kontrolního spoje [19].
- Provozní příručka UAS
 - v případě žádosti o povolení k provozu bezpilotního letadla za účelem jiným, než rekreačně-sportovním je žadatel povinen doložit provozní příručku UAS [19].

Legenda k obrázkům 1 a 2:

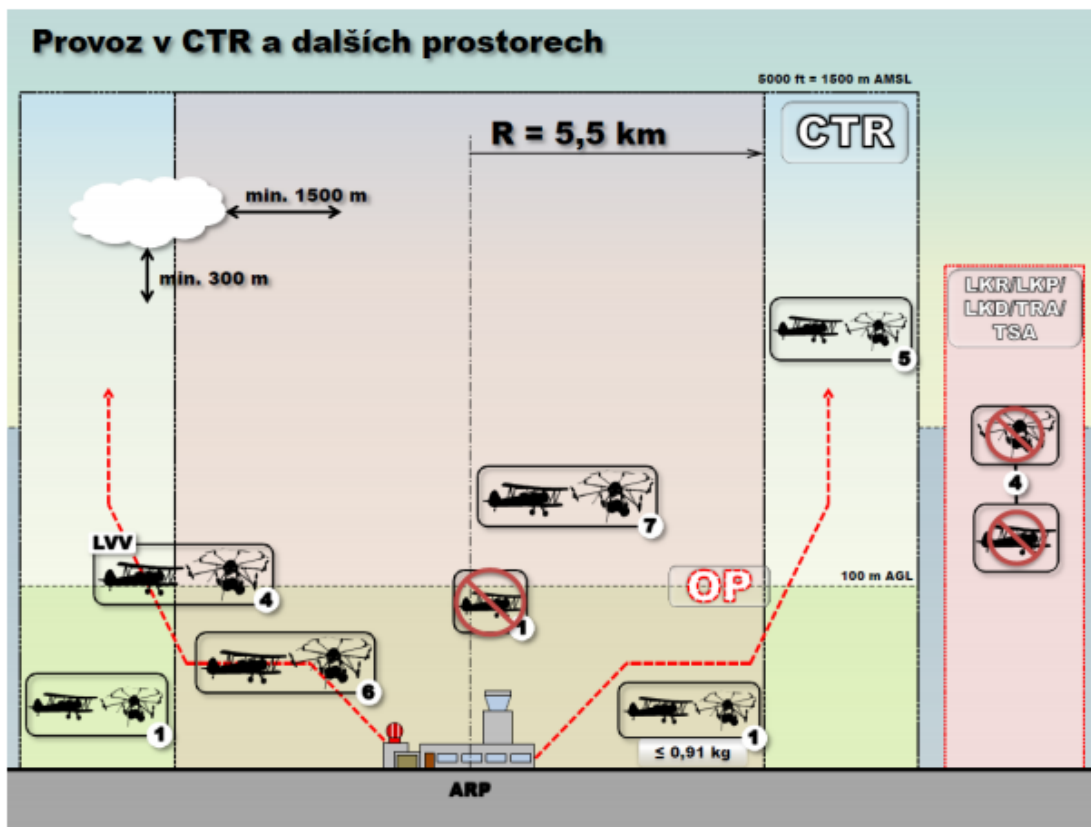
	Modely letadel s maximální vzletovou hmotností do 20 kg		
	Bezpilotní letadla (tj. včetně modelů letadel s maximální vzletovou hmotností nad 20 kg)		
CTR	Řízený okřesek letiště	LKR	Omezený prostor
ATZ	Letištní provozní zóna neřízeného letiště	LKP	Zakázaný prostor
OP	Ochranná pásma letiště	LKD	Nebezpečný 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

Obrázek 6 Legenda k obrázkům 7 a 8 [19]



Obrázek 7 Provoz bezpilotních systémů v ATZ a prostorech třídy G a E [19]



Obrázek 8 Provoz bezpilotních systémů v CTR a dalších prostorech [19]

4.2 Dodatek 5 – Volné balóny bez pilota na palubě se zátěží

Dodatek stanovující podmínky k provozování balónů bez pilota na palubě. Platný od 14. 12. 2014.

Skládá se z následujících šesti částí:

1. Klasifikace volných balónů bez pilota na palubě se zátěží
 - klasifikuje balóny do tří kategorií – lehké, střední a těžké (viz obrázek 6).
2. Všeobecná pravidla provozu
 - volný bezpilotní balón může být provozován pouze po udělení příslušného oprávnění státem, jehož území se přelet bude týkat (výjimku mohou tvořit lehké balóny provozované výhradně pro meteorologické účely).

3. Provozní omezení a požadavky na vybavení
 - stanovuje omezení zejména pro těžké volné balóny a balóny vybavené vlečnou anténou.
4. Ukončení provozu
 - provozovatel těžkého volného balónu musí ukončit provoz v případě, že: meteorologické podmínky pro provoz balónu jsou horší než podmínky předepsané, hrozí vstup do vzdušného prostoru nad územím jiného státu, jakékoli jiné důvody činí pokračování letu nebezpečné pro osoby, majetek nebo letový provoz.
5. Oznámení o letu
 - oznámení o zamýšleném letu volného balónu musí být předáno příslušnému stanovišti minimálně 7 dní před datem letu a musí obsahovat všechny stanovené náležitosti.
6. Záznam polohy a její hlášení
 - pokud letové provozní služby nevyžadují hlášení o poloze balónu v kratších intervalech, je provozovatel povinen zaznamenávat jeho polohu každé 2 hodiny.

Zpracováno podle [22].

CHARAKTERISTIKY		HMOTNOST ZÁTĚŽE (kilogramy)					
		1	2	3	4	5	6 a více
LANO nebo JINÉ ZAVĚŠENÍ		<div style="position: absolute; top: 10%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); background-color: white; padding: 5px;">TĚŽKÝ</div>					
230 Newtonů nebo VÍCE							
ZÁTĚŽ JEDNOTLIVÉHO BALENÍ	PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ vyšší než 13 g/cm ²						
VÝPOČET PLOŠNÉHO ZATÍŽENÍ	PLOŠNÉ ZATÍŽENÍ nižší než 13 g/cm ²						
Hmotnost (g)	Plocha nejmenšího povrchu (cm ²)	<div style="position: absolute; top: 10%; left: 15%; background-color: white; padding: 5px;">LEHKÝ</div>					
CELKOVÁ HMOTNOST (Jestliže se zavěšení nebo plošné zatížení nebo hmotnost jednotlivých zátěží neuvádí samostatně)		<div style="position: absolute; top: 10%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); background-color: white; padding: 5px;">STŘEDNÍ</div>					

Obrázek 9 Klasifikace volných balónů bez pilota na palubě [22]

4.3 Doplněk R – Podmínky pro provoz balónů bez pilota na palubě

Druhý dokument vymezující požadavky pro provoz balónů s důrazem na balóny upoutané. Platný od 4. 12. 2014.

Skládá ze čtyř nařízení:

1. Základní pojmy a kategorizace
 - obsahuje vysvětlení zkratk použitých v tomto doplňku a rozdělení balónů bez pilota na palubě do kategorií dle objemu.
2. Pravidla platná pro všechny balóny bez pilota na palubě
 - specifikuje pravidla týkající se například vymezení prostoru, ve kterém bude let probíhat a podmínky, které je nutno splnit před samotným zahájením letu.

3. Pravidla platná pro volné balóny bez pilota na palubě
 - pravidla týkající se zejména vybavení volných balónů a jejich provozování.
4. Pravidla platná pro upoutané balóny bez pilota na palubě
 - obdobné jako ustanovení 3., vztahuje se však na balóny upoutané.

Zpracováno podle [23].



Obrázek 10 Výšková omezení upoutaného balónu bez pilota na palubě [23]

4.4 Dodatek 4 – Systémy dálkově řízeného letadla

Dodatek zabývající se provozem systémů dálkově řízeného letadla (dále RPAS - Remotely Piloted Aircraft Systems). Platný od 4. 12. 2014.

Skládá se ze tří ustanovení:

1. Všeobecné pravidla provozu
 - RPAS nesmí být provozován bez příslušného povolení od státu, nad jehož územím má být let prováděn.
2. Osvědčení a vydávání průkazů způsobilosti
 - požadavky, které musí osvědčení či průkazy způsobilosti pro RPAS splňovat.
3. Žádost o povolení
 - informace o náležitostech, jež musí žádost o povolení k provozování RPAS splňovat.

Zpracováno podle [24].

5 MOŽNOSTI NEZÁKONNÉHO POUŽITÍ DRONŮ

Se zvyšujícím se počtem dronů přibývá také událostí, kdy jsou drony použity k protiprávním činnostem. Ve spojení s nezákonným použitím dronů si většina lidí asi vybaví terorismus. To je pochopitelné, protože se jedná o nejnebezpečnější formu zneužití dronů. Bezpilotní letadla však mohou být používána také k narušování soukromí a špionáži, k pašování zboží, hackingu nebo méně často k vandalismu.

5.1 Terorismus

Zjevné využití k terorismu je u dronů vojenských, které umožňují nést bomby, rakety či torpéda. Vzhledem k jejich velikosti je nebezpečí těchto bezpilotních letadel srovnatelné s nebezpečím hrozícím od letadel klasických. Co však použití bezpilotních letadel k teroristickým útokům zvýhodňuje, je možnost rizikovějších akcí, protože nehrozí nebezpečí jeho pilotovi. To platí i pro přímý náraz letadla do svého cíle.

Kromě přímého nasazení vojenských dronů teroristy zde hrozí i nebezpečí hacknutí vojenského dronu, jenž není v jejich vlastnictví a následně jeho zneužití k teroristickému útoku. To potvrdili vědci Kyle Wesson a Told Humphreys z University of Texas v Austinu, když ukázali, jak lze takový dron hacknout. Se zařízením za 1 000 dolarů se jim podařilo převzít kontrolu nad dronem v hodnotě 80 000 dolarů. Použili k tomu upravené GPS souřadnice, které danému bezpilotnímu letadlu podsunuli. Ten je vyhodnotil jako správné, kterými se může řídit [25].

Větší riziko teroristických útoků však hrozí u dronů komerčních, což vyplývá z jejich snadné dostupnosti. Tyto bezpilotní letadla mohou v rukou teroristů představovat nebezpečí už samy o sobě. Svou hmotností mohou při kontaktu s člověkem způsobit vážná až smrtelná zranění. Samozřejmě zde platí čím vyšší hmotnost dronu a čím větší je rychlost nárazu, tím vážnější budou následky. Hrozbu představují i jednotlivé vrtule dronu, které jsou zpravidla dost ostré a při kontaktu s lidskou kůží mohou způsobit závažná poranění.

Díky možnosti přenášet různé věci, pak drony skýtají mnoho způsobů, kterými je lze použít k terorismu. Mohou nést jak výbušniny, tak chemické, biologické a radiologické zbraně. K incidentu s radiologickými zbraněmi již došlo v dubnu roku 2015. Stalo se tak v Japonsku, kdy na střeše úřadu japonského premiéra Šinzóa Abehu přistál dron s výstražným symbolem označujícím radioaktivní materiál. Po jeho zajištění pak bylo

prokázáno, že dron sice radioaktivní materiál obsahoval, nicméně síla jeho radiace nebyla nikterak výrazná [26].



Obrázek 11 Zajištění dronu s radioaktivním odpadem [26]

Mezi další zaznamenané incidenty patří přelety bezpilotních letadel nad francouzskými jadernými elektrárnami. V říjnu 2014 bylo zaznamenáno několik přeletů celkem nad sedmi jadernými elektrárnami – tedy v bezletové zóně. Drony tehdy nenesly žádný nebezpečný materiál, takže se tyto incidenty obešly bez nějakých škod. Nicméně je zde velké potenciální riziko, k čemu by mohlo dojít, kdyby tyto bezpilotní letadla přinesla do areálu elektrárny výbušninu [27].

Podle fyzičky Ody Beckerové může malý dron ohrozit jadernou elektrárnu i sám o sobě. I když by sotva mohl ohrozit samotný reaktor, tak v případě, kdy by poškodil transformátor či jiné elektrické zařízení a došlo by k požáru, při němž by postupně vypadly další bezpečnostní okruhy, mohlo by nakonec dojít ke katastrofě. Bepilotní letadlo by také mohlo do prostoru elektrárny doručit výbušninu vnitřnímu pachateli, který by je poté strategicky rozmístil. Navrch pak přelety dronů nad elektrárnami mohou sloužit ke sběru informací pro pozdější naplánování útoku. Kromě samotných jaderných elektráren představují riziko i výzkumné reaktory. Například v Německu se jeden takový reaktor nachází přímo v Berlíně, takže v případě jeho napadení by byl dopad fatální [28].

Kromě elektráren jako takových, je v ohrožení i elektrické vedení, což je další z důležitých prvků kritické infrastruktury. K jeho zkratování postačí dron vybavený drátem. Tuto metodu také využili Britové za druhé světové války, kdy v rámci operace Outward vyslali nad Německo téměř 100 000 horkovzdušných balónů, z nichž zhruba polovina nesla dráty, pomocí kterých měly zkratovat vedení vysokého napětí. Dokonce se jim touto technikou podařilo zničit jednu z německých elektráren [29].

V lednu 2015 se pro změnu jeden z dronů dostal do areálu Bílého domu ve Washingtonu, kde posléze havaroval. V celém Washingtonu přitom platí zákaz létání s bezpilotními letadly. Bílý dům je navíc vybaven speciálním radarovým systémem, který byl navrhnut právě pro detekci dronů. V tomto případě však selhal [30].

Na bezpilotní letadlo je dokonce možné přidělat stříelnou zbraň a prostřednictvím mobilního telefonu provést útok z velké vzdálenosti. Že není problém dron takto upravit potvrdil osmnáctiletý student z Connecticutu, který na internetový portál YouTube nahrál video s názvem Flying Gun. Ve videu je demonstrováno, jak funguje bezpilotní letadlo, které má na sobě přidělanou pistoli [31].

5.2 Narušování soukromí a špionáž

Vzhledem k tomu, že drony umožňují nést vybavení jako videokamery či mikrofony, je zde riziko zneužití těchto zařízení ke špionáži či stalkingu evidentní. Některé bezpilotní letouny jsou dokonce přímo za tímto účelem vyráběny.

Pokud někdo provozuje bezpilotní letadlo nad soukromým pozemkem bez povolení majitele nebo s ním létá nad lidmi bez jejich svolení, porušuje tím § 86 nového občanského zákoníku č. 89/2012 Sb. To stejné platí pro pořizování obrazových či zvukových záznamů ze soukromého života, které nesmí být bez svolení dané osoby pořizovány. Provozovatel dronu se také musí řídit zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů.

Kromě stalkerů mohou drony ke sledování soukromých osob využívat zločinci, kteří si pořídí snímky sledované osoby a následně ji s nimi budou vydírat. Využití pro drony se najde i pro zloděje. Ti si pomocí bezpilotního letadla vybaveného videokamerou (ještě lépe infračervenou) mohou vytipovat objekty ke krádežím, vysledovat provoz v daném objektu, nebo zjistit, zda je v něm v daný moment někdo přítomen [32].

Další možností je použít dron vybavený mikrofonem k nelegálním odposlechům, či dron s videokamerou k získávání utajovaných informací. K tomuto účelu lze použít i bezpilotní letouny, které jsou konstruovány do podoby ptáků. Díky tomu lze získávat informace s mnohem menším rizikem odhalení.

5.3 Pašeráctví

Drony lze využít, jak k nelegálnímu pašování zboží přes státní hranice, tak k pašování zboží do věznic.

Při pašování zboží přes státní hranice se nejčastěji jedná o pašování drog, ale objevují se i případy, kdy se přes hranice pašují například cigarety.

Co se týče pašování drog, tak asi největší provoz bezpilotních letadel je na americko-mexické hranici. Podle vyjádření DEA začaly zločinné gangy využívat drony k obchodu s drogami již v roce 2011. Během roku 2012 pak mělo na americko-mexické hranice dojít zhruba k 150 drogovým transportům. Dle DEA je byznys s pašováním drog pomocí dronů natolik lukrativní, že některé drogové kartely začaly vyvíjet své vlastní drony se zvýšenou nosností [33].

Například v roce 2015 spadla poblíž hraničního přechodu San Ysidro hexakoptéra přepravující tři kilogramy metamfetaminu [34].



Obrázek 12 Zřícený dron pašující metamfetamin [34]

Pašování zboží pomocí dronů se objevuje také na hranicích v Zakarpatsku. Dochází zde k pašování neokolkovaných cigaret směrem na západ. Nejčastěji se jedná o cigarety Ukrajinské nebo Ruské výroby, ale pašují se i cigarety z jiných východoevropských zemí. Během jednoho přeletu zvládne dron přepravit 10 až 15 kartonů cigaret. [35].

Druhým způsobem využití bezpilotních letadel k pašování zboží je pašování zboží do věznic. Tento druh ilegální činnosti se začal objevovat kolem roku 2013. Od té doby se počet odhalených pokusů o propašování zboží do nápravných zařízení několika násobně zvýšil.

Podle společnosti BBC byly v roce 2014 zaznamenány v Anglii a Walesu pouze 2 takovéto incidenty. V roce 2015 jejich počet vzrostl na 33 [36].

Princip je prostý. Osoba, která má za úkol zboží do věznice doručit, počká, až vězňům začne vycházka. Poté s dronem doletí nad dvůr a spustí balíček. Příjemce je samozřejmě o doručení balíčku předem informován, takže mu pak stačí jej nenápadně sebrat.

Mezi nejčastěji pašované zboží patří drogy, zbraně, cigarety a pornografie [37].



Obrázek 13 Dron a zboží zadržené ve věznici v Marylandu [37]

5.4 Hacking

Co se týče hackingu, tak zde dron slouží pro transport zařízení používaných k hackování. Toto řešení se využívá u prostor, které nejsou běžně dostupné, nebo kde pachateli hrozí riziko odhalení.

V praxi to znamená například možnost hackingu bezdrátových tiskáren ve výškových budovách či oplocených objektech. Stačí k tomu bezpilotní letadlo a mobilní telefon se speciální aplikací. Pomocí dronu pachatel dopraví mobilní telefon na místo, kde je možné zachytit Wi-Fi signál vysílaný bezdrátovou tiskárnou. Aplikace v telefonu pak zařídí falešný přístupový bod, který se tváří jako daná tiskárna. Všechny dokumenty směřované dané tiskárně jsou následně zachycovány do mobilního telefonu. Ten může

získaná data okamžitě odeslat na některé z cloudových uložišť a ihned poté je přeposlat dané tiskárně, takže oběť si ani neuvědomí, že byla okradena [38].

Pomocí dronu vybaveného určitým hardwarem je také možné hacknout dopravní semaforey a ohrozit tak bezpečnost dopravy [39].

5.5 Vandalismus

Kromě již výše zmiňovaných možností využití dronů k ilegálním činnostem sem patří také vandalismus. Upravený dron totiž lze použít pro tvorbu graffiti.

Známý newyorský umělec, hacker a vandal KATSU v roce 2015 použil dron ke kresbě graffiti. Učinil tak na jednom z největších billboardů v New Yorku s reklamou na Calvin Klein. Pomocí dronu nasprejoval několik červených čar přes obličej modelky, jež byla na tomto billboardu vyobrazena. Autor uvedl, že na dronu, který umožňuje kresbu graffiti, pracuje již delší dobu a hodlá jej nadále zdokonalovat. Ke svému vandalskému počínu použil KATSU dron DJI Phantom [40].



Obrázek 14 Dron upravený pro kresbu graffiti [40]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZPŮSOBY DETEKCE DRONU V KONKRÉTNÍM PROSTORU

Problematika detekování dronu je velmi obtížnou záležitostí. Vše závisí na konkrétním typu bezpilotního letadla a jeho parametrech. Obecně se dá říci, že čím je dron menší, tím obtížnější je jeho detekce. Například u velkých vojenských dronů je detekování značně jednodušší. Stačí k němu běžně používaný radiolokační systém. Problém však nastává u malých komerčních dronů, kde kvůli nevelkým rozměrům jejich odrazných ploch, není detekce pomocí běžného radiolokátoru možná. Zde tedy přichází na řadu další detekční metody jako například inteligentní video analýza či akustická detekce.

Obecně platí, že pro detekci dronu se vždy využívá některé z jejich vlastností (viz tabulka č. 3). Většina metod využívá právě jednu vlastnost daného bezpilotního letadla, ale najdou se i různá kombinovaná řešení, který vyhodnocují přítomnost daného letadla na základě několika kritérií.

Tabulka 3 Přehled detekčních metod na základě vlastností dronu

Vlastnost dronu	Detekční metoda
odrážení rádiových vln	detekce aktivním radiolokátorem
vysílání rádiového signálu	detekce pasivním radiolokátorem
tvorba akustického vlnění	akustická detekce
optická viditelnost	inteligentní video analýza
vyzařování tepla	termografická detekce

Kromě samotné detekční metody je pro detekování dronu zásadní také to, v jakém prostředí se daný dron pohybuje.

V zásadě lze rozlišit dva hlavní typy:

- otevřený prostor,
- prostor se zástavbou.

V případě otevřeného prostoru bude detekce rozhodně jednodušší, jelikož není ovlivňována tolika okolními vlivy jako v případě prostoru se zástavbou.

Detekce dronu v otevřeném prostoru se týká především zabezpečení vzdušného prostoru v přílehlém okolí letišť, elektráren (zejména tedy jaderných) či zabezpečení kulturních akcí konajících se na otevřeném prostranství pod širým nebem (např. hudební festivaly). Dále sem patří zabezpečení objektů kritické infrastruktury nacházejících se na odlehlejších místech, kam patří např. muniční sklady, vojenské základny, rozvodny elektrické

sítě či nádrže pitné vody. Detekování dronu v otevřeném prostoru se týká také velké části věznic. V neposlední řadě sem patří zabezpečení státních hranic, kde dochází k pašování zboží.

Detekovat dron v prostoru se zástavbou je potřeba například tam, kde dochází k vysoké koncentraci lidí na jednom místě, čímž vzniká riziko teroristického útoku. Patří sem náměstí, nádraží, místa konání sportovních akcí či jiné prostory, kde dochází k nějakým shromážděním. Dále sem lze řadit zabezpečení okolí objektů kritické infrastruktury umístěných v prostoru se zástavbou. Např. vládní budovy, lékařská zařízení či objekty, kde se pracuje s utajovanými informacemi (riziko špionáže prostřednictvím bezpilotního letadla).

Níže v této části je popsáno a stručně charakterizováno všech pět metod, které jsou vyjmenovány v tabulce 3. Navíc je uvedena ještě metoda šestá, což je způsob detekce, při kterém se využívá několika detekčních metod zároveň. Jedná se tedy o detekci kombinovanou. U některých metod jsou pak uvedena i konkrétní technická řešení, která se pro detekci dronů používají.

6.1 Detekce aktivním radiolokátorem

Radiolokátor neboli radar – což je akronym z anglického Radio Detection and Ranging je zařízení sloužící pro zjišťování přítomnosti objektů v prostoru prostřednictvím elektromagnetických vln. Kromě samotné přítomnosti lze zjistit i některé parametry daného objektu jako je jeho velikost a tvar či rychlost a směr jeho pohybu [42].

V případě aktivního radiolokátoru je princip funkce takový, že vysílač ozařuje objekty (cíle) elektromagnetickým vlněním, zatímco přijímač zachycuje vlny odražené od objektu. Aktivní radary se dělí na primární a sekundární. Zatímco radiolokátory primární nevyžadují žádnou spolupráci od sledovaných objektů, tak u sekundárních je třeba, aby byl detekovaný objekt vybaven odpovídačem. Vysílací anténa radaru totiž vyšle dotaz ke sledovanému objektu a ten se pomocí odpovídače ohlásí svým vlastním kódem. Vzhledem k tomu, že bezpilotní letadla zpravidla nejsou vybavena odpovídačem, je pro jejich detekci sekundární radar nevhodný. A i kdyby ve své výbavě původně odpovídač měla, tak se při nezákonné činnosti nedá předpokládat to, že by jej pachatel nechal funkční. Sekundární radar se tedy hodí spíše do řízení letového provozu, proto se tato práce bude dále zabývat pouze radiolokátorem primárním [42].

Vzhledem k tomu, že se aktivní radiolokátory běžně používají v civilním i vojenském sektoru, např. pro řízení letového provozu nebo pro detekci nepřátelských letadel, neměly by mít s detekcí dronů větších rozměrů žádný problém, což znamená snadnou detekci většiny vojenských bezpilotních letadel. Výjimku pak tvoří drony používající stealth technologii – ty totiž mají jen velmi malou účinnou odraznou plochu.

Problém však nastává u menších komerčních dronů. Ty jsou těžce zjistitelné jak z důvodu, že mají malou odraznou plochu, tak proto, že jsou většinou vyrobeny z plastových materiálů. Od těch se totiž hůře odráží elektromagnetické vlnění – například v porovnání s materiály kovovými. U elektromagnetického vlnění totiž platí, že čím má materiál větší elektrickou vodivost, tím lépe se od něj toto vlnění odráží.

V následující tabulce je možné vidět srovnání efektivní odrazné plochy dronů (myšleno těch komerčních) s dalšími objekty.

Tabulka 4 Porovnání efektivní odrazné plochy cílů [44]

Objekt	Efektivní odrazná plocha [m²]
Strategický bombardér B-52	100
Osobní automobil	100
Jízdní kolo	2
Osoba	1
Malý jednomotorový letoun	1
Strategický bombardér B-2	0,1
Pták	0,01
Dron	0,01 - 0,02
Stíhací letoun F-117	0,025
Hmyz	10 ⁻⁵

Jak je z tabulky patrné, velikost odrazné plochy bezpilotního letadla je srovnatelná s velikostí ptáka. Zde tedy nastává jeden z největších problémů při detekci dronů pomocí primárního aktivního radiolokátoru a tím je rozeznat od sebe tyto dva objekty. Bepilotních letadel totiž existuje mnoho druhů, které se navzájem liší svým tvarem a velikostí. To samé se navíc dá říci i o ptácích. Proto je velmi obtížné, aby vyhodnocovací software radarového systému dokázal tyto objekty od sebe rozpoznat.

Existují dokonce i drony, které jsou záměrně konstruovány tak, aby svým vzhledem a letovou charakteristikou ptáky napodobovaly. Například firma Clear Flight Solution vyrábí tzv. RoBirds - drony napodobující dravce, na 3D tiskárnách [45].

V současnosti žádná firma radary, které by byly schopné rozlišit bezpilotní letadla od ptáků, nenabízí. Předpokládá se však, že jsou podobné systémy ve vývoji a snad již brzy budou dostupné. Pomocí aktivního radarového systému by pak mělo být možné detekovat dron na vzdálenost několik stovek až tisíců metrů [46].

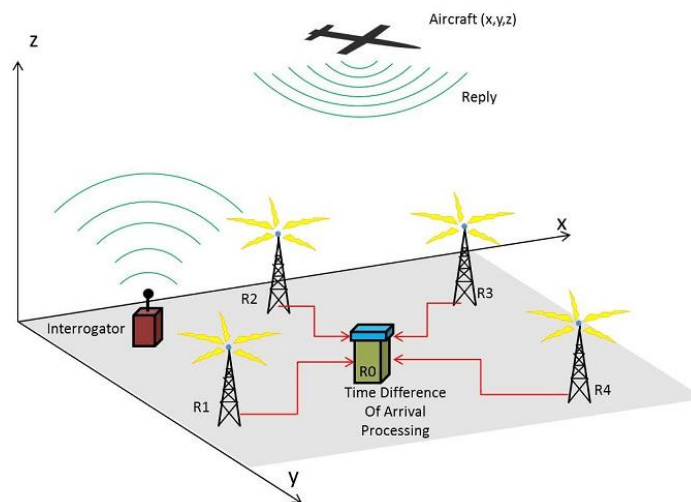
Pro detekci bezpilotních letadel je zásadní také vlnová délka, na které daný radiolokátor vysílá. Vzhledem k malým rozměrům sledovaných objektů totiž může docházet k difrakci. To je jev, kdy jsou rozměry cíle malé, ve srovnání s vlnovou délkou elektromagnetického signálu vysílaného radiolokátorem a energie přímé vlny se kolem cíle ohýbá (obtékání) [48].

Mezi nevýhody aktivních radarů patří to, že je lze na základě vysílání elektromagnetického vlnění lokalizovat a dále proti nim použít rušičku. Detekce malých cílů je obtížná a i v případě úspěšné detekce takového cíle je potom problém identifikovat, o jaký objekt se jedná. Tato metoda je vhodná pouze pro otevřené prostory, neboť v zástavbě by docházelo k velkému množství nežádoucích odrazů rádiového vlnění.

Výhodou je zase velký dosah a oproti radiolokátorům pasivním také jednodušší konstrukční řešení (stačí jedna stanice). Navíc při detekci větších cílů jsou poměrně spolehlivé a riziko falešných poplachů je malé.

6.2 Detekce pasivním radiolokátorem

Pasivní radiolokátor na rozdíl od aktivního nedetekuje přímo dané objekty, ale pouze elektromagnetické záření, které tyto objekty vydávají či odráží. Vzhledem k tomu, že tento typ radiolokátoru signál pouze přijímá, tak sám o sobě není z přijatého signálu schopen určit, z jaké vzdálenosti přichází a tím tedy určit polohu cíle. Proto se k přesnému určení polohy používá multilaterace, což znamená vyhodnocení vzdálenosti na základě rozdílu času příchodu signálu z cíle na minimálně tři přijímací stanice. Celý systém se tedy skládá minimálně ze dvou bočních přijímacích stanic a jedné středové, ve které dochází k vyhodnocení vzdálenosti objektu prostřednictvím signálového procesoru. Boční stanice komunikují se stanicí středovou pomocí mikrovlnného spojení. Při třech stanicích však lze detekovat polohu cíle pouze ve 2D souřadnicích. Na to, aby bylo možné určit i třetí rozměr, je potřeba alespoň čtyř stanic. Zpravidla se jich však používá ještě více. Například Letiště Václava Havla v Praze jich má celkem patnáct [49].



Obrázek 15 Znáznornění principu multilaterace [50]

U pasivních radiolokátorů není nutné, aby sledovaný objekt sám vyzařoval elektromagnetické vlnění, ale stačí, když odráží některý ze signálů, jenž se vyskytuje v okolí. To může být třeba signál vysílaný rádiovými, televizními či mobilními vysílači. Zde ale přesnost detekce opět naráží na problém s velikostí efektivních odrazových ploch sledovaných objektů. Použití je tedy stejně jako u aktivních radiolokátorů vhodné spíše pro větší drony. Nicméně při sledování odraženého signálu od cíle mají pasivní radiolokátory výhodu, že sami nic nevysílají, takže je nejde vysledovat. Další výhodou pak je fakt, že pokud by proti nim někdo použil rušičku, tak radar naopak signál vysílaný touto rušičkou využije ve svůj prospěch – tedy k detekci cílů [49].

Největší výhoda pasivních radiolokátorů je však v tom, že pokud sledovaný objekt sám vysílá elektromagnetický signál, je možné tento signál zachytit a daný objekt detekovat, aniž by záleželo na velikosti jeho efektivní odrazové plochy. Jelikož většina bezpilotních letadel komunikuje se svým provozovatelem (údaje o poloze, stav baterie, přenos videozáznamu), tak vyzařuje vlastní elektromagnetické vlnění, které by mělo jít detekovat. Výjimkou jsou drony, které fungují v autonomním režimu – ty žádné záření vysílat nemusí.

Pro vyhodnocování polohy cíle je klíčový software pasivního radiolokátoru. Vyhodnocení probíhá minimálně dvoufázově. Používá se potlačení šumu a při výpočtu musí být zahrnuto mnoho vlivů ovlivňujících šíření elektromagnetických vln (např. změny v ionosféře Země). Přesný způsob, kterým ke zpracování signálu dochází, je součástí mnoha patentů a to zejména tajných. Proto nelze s určitostí říct, do jaké míry by byl tento systém schopen rozlišit komerční drony od ptáků. Každopádně je software nejdůležitější

součástí tohoto radiolokačního systému, jelikož právě na něm závisí, s jakou přesností dokáže detekovat cíle ve sledovaném prostoru. Je také nutné, aby byl součástí radiolokačního systému výkonný počítač, aby mohlo docházet k vyhodnocování dat v reálném čase [49].

Mezi výhody pasivních radiolokátorů tedy patří možnost detekovat i malé objekty, pokud vysílají elektromagnetický signál. Dále nemohou být vysledovány, protože sami nic nevysílají a tím pádem nemohou být také sabotovány. Kdyby však přece jen došlo ke zničení některých částí tohoto systému, tak je poměrně snadné je nahradit a navíc jsou jeho části levné. Nejcennější je na celém systému jeho software a ten zničit nelze. Navíc tyto radiolokátory nemohou být rušeny a mají poměrně velký dosah. Pro představu pasivní radiolokátor české výroby Věra má dosah až 400 km (což samozřejmě nebude platit pro tak malé objekty jako drony) [51].

Nevýhodou je opět problematické rozeznávání dronů od dalších létajících objektů, jako jsou ptáci. A také složitější konstrukční řešení, jelikož je k detekci potřeba několika přijímacích stanic. Stejně jako u aktivních radiolokátorů se tato metoda detekce hodí pouze pro otevřené prostory.

6.3 Akustická detekce

Tato metoda se týká zejména malých komerčních dronů. Ne, že by nebylo možné ji použít i pro detekci těch velkých – vojenských, ale tam je tato technologie již dávno překonána radiolokátory, které mají mnohem větší dosah. Akustické lokátory se používaly pro detekci letadel např. během první světové války. Jednalo se však o zařízení, které pouze zesilovalo zvuky z okolí, které pak vyhodnocovala obsluha daného lokátoru.

Dnešní akustické senzory jsou zařízení, která kromě toho, že sledují zvuky z okolí, dokáží následně pomocí softwaru daný zvuk vyhodnotit a určit, zda se jedná o dron. Musí tedy mít k dispozici vlastní databázi, jež obsahuje informace o akustickém vlnění, které různé typy bezpilotních letadel vydávají. Hodně charakteristický zvuk mají třeba koptéry, které jsou navíc nejběžněji používaným typem dronů.

Mezi výhody patří nemožnost záměny dronu s ptákem. Tato zařízení nic nevysílají, takže je nejde vysledovat. Navíc lze akustické senzory používat i v prostoru se zástavbou. Dalšími výhodami pak je nízká cena, snadná dostupnost a malé rozměry.

Nevýhodou je možnost planých poplachů od zařízení s podobným zvukem (např. strunové sekačky či křovinořezy). Další nevýhodou je malý dosah (desítky metrů v prostoru se zástavbou a stovky metrů ve volném prostoru). Navíc se tyto detektory dají obejít s dronem, který bude mít nějaký atypický zvuk či zvuk standardní něčím upravený. Také bezpilotní letadla, která nejsou vyráběna sériově, nemusí tento systém zaznamenat.

Výrobou akustických senzorů se zabývá kupříkladu firma DroneShield, která má v nabídce jak zařízení, pro městské prostředí, tak pro průmyslové zóny [52].

6.3.1 Omnidirectional sensor

Tento akustický senzor je určen pro instalaci do městských či předměstských zón. Ke své činnosti využívá všesměrový mikrofon s úhlem snímání 180° a je odolný proti povětrnostním vlivům. Je schopný odlišit běžný hluk vyskytující se v okolí od zvuku, který vydávají drony. Dosah senzoru je 100 m.



Obrázek 16 Omnidirectional sensor [52]

Senzor je ovládán pomocí uživatelského rozhraní DroneShield. Aby mohl vyhodnocovat přijímané akustické vlnění, musí být připojen k PC s internetem. Ve vývoji však je i On-site processor, který bude mít integrovanou porovnávací databázi, takže senzory budou moci vyhodnocovat data i bez internetu a v reálném čase. Na jeden takový procesor by mělo jít připojit až 20 senzorů [52].

6.3.2 Long-range sensor

Zde se jedná o akustický senzor stejné výroby, jako v předchozím případě. Liší se však svou konstrukcí a použitím. Tento akustický senzor je určený zejména pro průmyslové instalace.



Obrázek 17 Long-range sensor [52]

Je zhruba desetkrát výkonnější než Omnidirectional sensor, takže má délku dosahu až 1 km. Má ovšem menší úhel záběru, což je 30° , takže je pak nutné použít více senzorů pro zabezpečení celého perimetru. Konstrukce je také odolná proti povětrnostním vlivům a senzor je schopen odfiltrovat běžný okolní hluk. Ovládání probíhá přes uživatelské rozhraní DroneShield a v budoucnu bude též možnost jej připojit na On-site processor, aby mohlo vyhodnocování probíhat i offline [52].

6.4 Inteligentní videoanalýza

Inteligentní videoanalýza neboli IVSS (Intelligent Video Surveillance Systém) je metoda, která umožňuje obrazovou informaci detailně analyzovat a vyhodnocovat změny dle předem definovaných pravidel (např. chování objektu či porovnávání jeho obrazu s databází) [53].

Proces videoanalýzy funguje tak, že probíhá opakované vykonávání algoritmů na základě předem stanovených pravidel a vstupních požadavků. Postupně je vyhodnocována změna ve dvojdimenzionálním rastru každého snímku dané videosekvence. Zatímco pozadí představuje pevnou předdefinovanou scénu, na popředí snímku jsou aktivní pixely, které reprezentují dynamické objekty. Druhým krokem procesu je segmentace, kdy dochází k logickému seskupování aktivních pixelů do prostorových segmentů. U těchto

segmentů lze předdefinovat jejich minimální a maximální hraniční velikost. Jednotlivé prostorové segmenty jsou spojovány v čase, čímž vznikají časoprostorové cíle. Poté následuje klasifikace identifikovaných cílů do příslušných skupin (lidé, auta, létající objekty, atd.). Výsledkem pak jsou metadata. Tímto způsobem tedy lze detekovat objekty podle velikosti či tvaru. Druhá (jednodušší) možnost využití IVSS je vymezení ve snímaném prostoru virtuální hranice, kdy při jejich překročení dojde k vyslání poplachové zprávy [53].

K použití inteligentní videoanalýzy je zapotřebí videokamera, která snímá danou scénu a počítač s příslušným softwarem, který umožňuje její vyhodnocování. Platí, že čím větší je rozlišení kamery, tím větší je vzdálenost ve které lze detekovat objekty. Nicméně s větším rozlišením jsou spojeny i složitější vyhodnocovací algoritmy a větší nároky na výpočetní techniku. V současné době však již existují i kamery, které mají analytický software přímo integrovaný v doplňkovém čipu hardwarového akcelerátoru. Jsou pak schopné zachycovat podrobnosti o objektech a vytvářet tak metadata aniž by musely být připojeny k výpočetnímu systému. Kamery tohoto typu vyrábí kupříkladu firma Bosch [54].

Co se týká detekce samotných dronů, tak ta je touto metodou možná na několik desítek metrů. IVSS se samozřejmě týká malých komerčních dronů, jelikož pro velká a rychlá bezpilotní letadla by kvůli omezené vzdálenosti detekce nebyla účinná.

Nevýhodou je opět problém s rozlišením dronu od ptáka podobné velikosti. Tato technologie je však stále ve vývoji a dá se předpokládat zlepšování jejích rozlišovacích schopností. Avšak u dronů, které jsou záměrně konstruovány tak, aby vypadaly a pohybovali se jako ptáci, lze očekávat, že tento problém bude vždy. Inteligentní videoanalýza je také značně ovlivňována atmosférickými podmínkami.

Výhodou je snadná dostupnost této technologie a její poměrně jednoduchá aplikace. IVSS také nabízí velmi široké spektrum možných nastavení detekce. Navíc pokud má kamera schopnost nočního vidění, je možné tuto metodu používat i potmě a to s ještě lepší přesností, neboť ve tmě nezasahují do snímané scény stíny předmětů. Malé rozměry technického řešení pak zajišťují snadnou přenosnost.

6.5 Termografická detekce

Termografická detekce je metoda, která využívá infračervenou energii vyzařovanou tělesem. Nejlépe lze tohoto jevu využít prostřednictvím infračervených kamer. Teoreticky by se dalo pro detekci dronů využít i pasivních infračervených detektorů, ale v praxi by tato metoda zřejmě nebyla účinná a to hned z několika důvodů. Tím prvním je malá povrchová teplota většiny bezpilotních letadel. Což je dáno tím, že tyto zařízení vydrží ve vzduchu jen omezenou dobu (u běžných koptér je to několik minut) a navíc jsou při letu ochlazovány proudícím vzduchem, takže se jejich motory nestihnou zahřát na vyšší teplotu. Dále by mohlo docházet k velkému počtu falešných poplachů způsobených zvířaty, případně osobami pohybujícími se v hlídaném prostoru. Navíc mají tyto detektory zpravidla velmi omezený dosah, což by zde nebylo žádoucí.

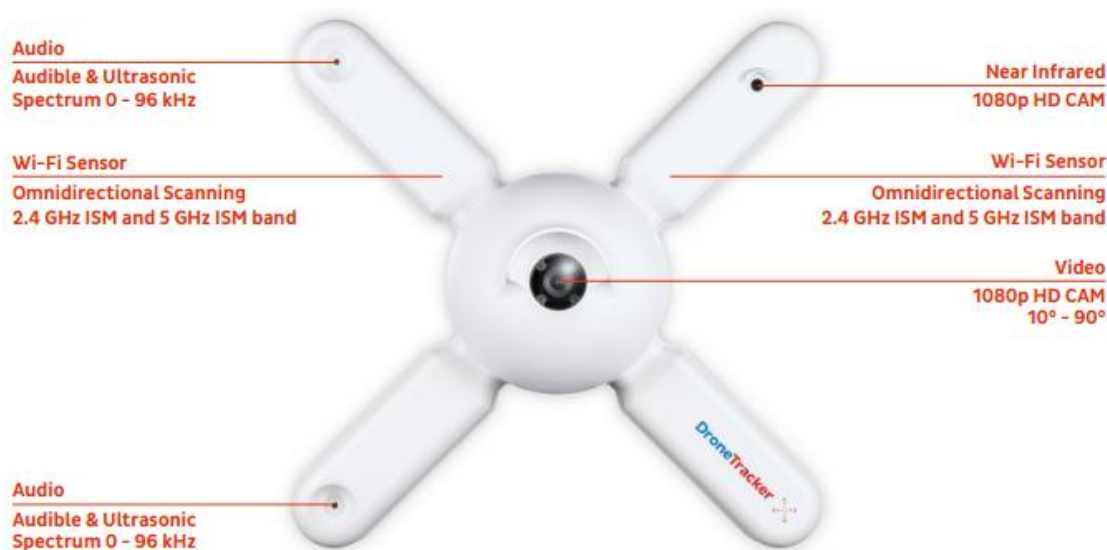
Oproti tomu u infračervených kamer lze opět použít inteligentní videoanalýzu, která umožňuje drony rozeznat od předmětů rozdílné velikosti. Princip je stejný, jako je popsáno v předchozí kapitole. Výhoda však je, že při použití infrakamery nejsou ve snímané scéně stíny, které jinak způsobují složitější vyhodnocování zaznamenaných dat. Také je zde možné dosáhnout větší detekční vzdálenosti neboť je snímaná scéna přehlednější.

6.6 Kombinovaná detekce

Kombinovanou detekci umožňují technická řešení, u kterých je integrováno několik detekčních metod do jednoho zařízení. Jak už bylo zmíněno výše, u většiny metod je problém s identifikací detekovaného objektu. Proto se objevují systémy kombinující několik typů senzorů, což přispívá k přesnější identifikaci.

6.6.1 Data Sheet DroneTracker V 2.0

Tento systém pro detekci dronů od firmy DEDRONE obsahuje hned 4 různé typy senzorů. To je z důvodu, že u jedné detekční metody je zpravidla obtížné určit, zda je detekovaný objekt skutečně dron [55].



Obrázek 18 Data Sheet DroneTracker V 2.0 [55]

Součástí tohoto zařízení jsou:

- 2 akustické senzory s dosahem 50 až 80 m
- 2 Wi-Fi senzory detekující rádiové vlny v pásmu 2,4 GHz a 5 GHz
- infračervená HD videokamera s rozlišením 1080p
- HD videokamera s rozlišením 1080p [55].

U videokamer probíhá vyhodnocení snímané scény pomocí pokročilé obrazové analýzy. Další parametry systému jsou uvedeny v následující tabulce [55].

Tabulka 5 Technické parametry zařízení Data Sheet DroneTracker V 2.0 [55]

Rozměry	440 x 440 x 164 mm
Hmotnost	3,8 kg
Způsob komunikace	pomocí sítě LAN
Pracovní teplota	20 až + 50° C
Dosah	500 m
Konfigurace	pomocí internetového rozhraní
Paměť zařízení	240 GB
Alarmové oznámení	přes vlastní software, SMS, protokoly TCP/IP a SNMP či mobilní aplikaci

7 DESTRUKTIVNÍ METODY ELIMINACE DRONŮ

Pokud dojde k detekci dronu v prostoru, kde toto zařízení nemá co dělat (tyto prostory jsou definovány v Doplnku X o bezpilotních systémech – viz kapitola 4.1) nebo pokud dané bezpilotní letadlo jiným způsobem ohrožuje osoby, majetek nebo životní prostředí, mělo by dojít k jeho likvidaci či k zastavení jeho činnosti jiným způsobem.

Tato kapitola se bude zabývat destruktivními metodami, což jsou metody, kdy při zneškodnění dronu dochází k jeho poškození nebo úplnému zničení. K destruktivní eliminaci dronů lze použít následující prostředky:

- protiletadlovou techniku,
- střelné zbraně,
- laserové zbraně.

7.1 Likvidace dronů protiletadlovou technikou

Protiletadlovou techniku lze rozdělit na dvě hlavní kategorie, což jsou dělostřelecké kanóny a protiletadlové řízené střely spolu se zařízeními sloužícími k jejich přenosu a odpálení. Dělostřelecké kanóny se hodně používaly během druhé světové války, ale v současnosti je ve většině případů nahradily řízené PL střely krátkého dosahu. Výjimku tvoří automatické dělostřelecké kanóny, jež se stále používají k blízké obraně před letadly či raketami, které nebyli zlikvidovány řízenými střelami [56].

Co se týká protiletadlových řízených střel, tak ty lze rozdělit na dvě skupiny:

- rakety vzduch-vzduch,
- rakety země-vzduch.

Rakety vzduch-vzduch jsou určeny pro vzdušné souboje a nejčastěji je ve své výbavě mají stíhací letouny. Mohou je však nést i vrtulníky nebo bezpilotní letadla. Např. české Gripeny JAS-39 mají ve své výbavě dva typy těchto raket a to rakety středního dosahu AIM 120 AMRAAM a krátkého dosahu AIM-9 Sidewinder [57].

Rakety země-vzduch jsou primárně určeny pro likvidaci leteckých cílů ze země a jsou odpalovány z protiletadlových raketových kompletů. Tyto komplety bývají namontovány na pásových a kolových vozidlech, ale existují i lehké přenosné komplety, které jsou odpalovány z ramena obsluhy.

Tato technika je vhodná spíše pro likvidaci větších bezpilotních letadel (váhové kategorie – střední, těžké a supertěžké). Své uplatnění má tedy ve vojenském sektoru.

Co se týká malých bezpilotních letadel, tak zde výše zmíněná technika není vhodná z několika důvodů. Tím prvním je bezpečnost. Eliminovat malé drony je totiž většinou potřeba v civilním sektoru, kde by použití dané techniky mohlo ohrožovat osoby, majetek a životní prostředí. Dále, co se týká ekonomiky, tak cena řízených střel je několikanásobně vyšší než cena většiny běžných malých dronů, takže by se tento způsob likvidace moc nevyplatil. Navíc je u řízených střel určitá minimální vzdálenost, na kterou je lze použít (většinou ve stovkách metrů), takže pro eliminaci malých dronů, které nelze detekovat na větší vzdálenost by nešly použít. Dalším problémem by pak bylo navádění rakety na tak malý cíl.

7.1.1 Raytheon FIM-92A Stinger

Raytheon FIM-92A Stinger je přenosný protiletadlový raketový komplet země-vzduch s odpalováním z ramene. Je určený k likvidaci nadzvukových letounů, letících v malých výškách, pomalých vrtulových letounů, vrtulníků a bezpilotních prostředků [58].



Obrázek 19 Raketový komplet FIM-92A Stinger [59]

Obsluhu tohoto kompletu zajišťují dva muži. Střela Stinger je schopna zasáhnout i vysoce manévrující cíle. K navádění na cíl používá pasivní infračervenou naváděcí soustavu a díky zaměřovači s nočním viděním je možná střelba také v noci.

Tabulka 6 Technické parametry raketového kompletu FIM-92A Stinger [58]

Délka střely	1,5 m
Průměr střely	762 mm
Hmotnost celého kompletu	15,7 kg
Hmotnost samotné střely	10,1 kg
Maximální rychlost letu	2 523 km/h
Efektivní dálkový dosah střely	200 až 4 000 m
Reakční doba	do 6 s

Tento raketový systém je vhodný zejména pro likvidaci vojenských dronů větších rozměrů, jako je například: General Atomics MQ-9 Reaper, MQ-1 Predator, Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, Boeing A160 Hummingbird, Aeronautics Defense Dominator, Northrop Grumman MQ-8 Fire Scout, TAI Anka, Northrop Grumman X-47B [61].

7.2 Likvidace dronů střelnými zbraněmi

Zneškodnit dron je možné i s použitím běžných střelných zbraní. Tohle se týká například malých komerčních dronů typu koptéra, kde pro jejich eliminaci většinou stačí poškodit jednu z jejich vrtulí. U quadrokoptér dojde při poškození jedné z vrtulí k okamžitému pádu, zatímco u koptér s větším počtem vrtulí (hexakoptéry, oktakoptéry, atd.) je sice možné, že se udrží ve vzduchu, ale stanou se špatně ovladatelnými. Při poškození několika vrtulí, což není pomocí střelných zbraní problém, pak dojde k pádu i v případě těchto více motorových koptér. Kromě vrtulí je pomocí střelných zbraní možné poškodit i několik dalších součástí, které jsou pro správné fungování dronu nezbytné. Komerční drony jsou totiž většinou vyráběny z plastů, takže jejich odolnost je minimální.

Využít tuto metodu likvidace je možné i pro armádní účely a to kupříkladu při likvidaci malých průzkumných bezpilotních letadel protivníka.

Vzhledem k tomu, že tak malý a rychlý cíl, jako je bezpilotní letadlo, je obtížné zasáhnout, jsou pro tuto úlohu vhodné brokové zbraně, u kterých není nutná taková přesnost. Nevýhodou je zejména malý účinný dostřel (u většiny brokovnic je udáván účinný dostřel 50 až 100 m). Vhodné mohou být i automatické zbraně, které mají větší efektivní dostřel než zbraně brokové. Avšak tato výhoda je limitována tím, na jakou vzdálenost je obsluha zbraně schopna cíl zasáhnout. Z důvodu bezpečnosti je tato metoda vhodná na odlehlých prostorech, kde nehrozí ohrožení civilistů [60].

Mezi výhody patří jednoduchost řešení, poměrně snadná dostupnost a zejména pak nízká cena.

Na malou vzdálenost by tato metoda měla být efektivní proti dronům jako: DJI Phantom 3 Professional Quadcopter, Parrot AR.Drone 2.0, 3DR Solo Drone Quadcopter, DJI T600 Inspire 1 Quadcopter, Spreading Wings S900, Skyhawk RC Hexacopter Hawk F750, Yuneec Q500 4K Typhoon Quadcopter, TurboAce Infinity 9Pro Octocopter, AeroVironment RQ-11 Raven a podobným [61, 62, 63].

7.3 Eliminace dronů laserovými zbraněmi

Laserové zbraně pro svou funkci využívají elektromagnetického záření (konkrétně světla). Toto světlo je emitováno cíleným směrem ve formě úzkého paprsku. Světlo vyzařované laserem je koherentní a monochromatické. Laser se skládá ze tří hlavních částí, kterými jsou aktivní prostředí, rezonátor a zdroj energie. Právě aktivní prostředí je to, podle čeho se dělí většina laserů. Může být tvořeno krystaly drahých kamenů (např. rubín, safír), vzácnými plyny, (helium, neon, argon, aj.), chemickými látkami (mj. hydrogenfluorid, deuterium fluorid), kapalinami či optickými vlákny [64].

Dále se lasery dělí podle vyzařovaného výkonu. Ty nejslabší (nesmrtící) mají výkon ve stovkách wattů až jednotkách kilowattů. Někdy se také označují jako oslepující lasery, protože často slouží pro dočasné vyřazení optických přístrojů a případně i osob. Pomocí těchto laserů je tedy možné vyřadit optická zařízení dronu, což může mít za následek znesnadnění ovládní daného bezpilotního prostředku a eliminování jeho sledovacích funkcí. Oslepovací lasery v současnosti představují obvyklou výzbroj jak armád, tak i bezpečnostních sborů, které s jejich pomocí potlačují demonstrace a nepokoje. Navíc je lze využít i pro zneškodňování výbušnin. To znamená, že by bylo možné je použít pro likvidaci dronů přenášejících výbušninu, takže by k jejich explozi došlo ještě před tím, než by stihly doletět na místo určení. Laserové zbraně v této kategorii mohou být přenosné [64].

Druhou kategorií tvoří laserové zbraně s označením ničivé nebo smrtící. Ty mají výkon od desítek kilowattů až po megawatty. Likvidovat živé cíle, optické přístroje a měkkou techniku (radiolokátory, malé bezpilotní letadla, apod.) dokáží laserové s výkonem v desítkách kW. Ty, které mají výkon ve stovkách kW, dokáží sestřelovat běžné letecké cíle, jako jsou bojové letouny a menší střelecké projektily. Nejvýkonnější

laserové zbraně (v řádech MW) dokáží zničit i těžkou dělostřeleckou municí, balistické rakety, některé odolné pozemní cíle a dokonce i družice [64].

Pro likvidaci menších dronů by tedy měly stačit laserové zbraně s výkonem desítek kW a pro ty větší vojenské pak ve stovkách kW.

Výhodou laserových zbraní jsou nízké provozní náklady (několikanásobně nižší cena výstřelu než u naváděných raket) a rychlost jejich paprsku. Ten se pohybuje rychlostí světla, což se dá v praxi počítat za absolutní rychlost. Zpravidla tedy není nutné počítat s pohybem cíle vůči laserové zbraně. Navíc laserové paprsky bývají většinou neviditelné a výstřel není slyšet, takže nehrozí riziko prozrazení pozice zbraně [64].

Asi největší nevýhodou laserových zbraní jsou jejich vysoké energetické nároky. Mají totiž jen velmi malou energetickou účinnost (většinou v jednotkách procent), takže jsou kladeny vysoké požadavky na zdroj energie. S tím pak souvisí velká hmotnost a rozměry laserových zbraní, takže jsou problémy s přenosností. Dále je pak nutno, aby byl cíl vždy v přímé viditelnosti laserového paprsku. S tím souvisí riziko nechtěného zásahu objektů, jež se dostanou do linie paprsku [64].

7.3.1 AN/SEQ-3 Laser Weapon System

Laser Weapon System (zkráceně LaWS) je laserová zbraň americké výroby s výkonem 30 kW. Od roku 2014 je ve výzbroji výsadkové lodi USS Ponce, která působí v Perském zálivu. Jedná se o první případ, kdy je námořní laser použit v běžném provozu [65].

LaWS obsahuje šest komerčně dostupných laserů o síle 5,4 kW, které pomocí speciální optiky spojuje v jeden paprsek. Je určený pro likvidaci bezpilotních letadel a malých člunů. Likvidace probíhá tak, že je vyzařován laserový paprsek na cíl a současně zbraň kopíruje pohyb cíle, dokud nedojde k jeho zničení [65].



Obrázek 20 AN/SEQ-3 Laser Weapon System [66]

Tento laserový systém byl mimo jiné úspěšně testován proti bezpilotnímu letadlu AAI MQ-19 Aerosonde, což je dron spadající do hmotností kategorie – lehké. Lze se tedy domnívat, že LaWS je vhodný pro likvidaci dronů lehké až střední hmotnosti [65].

Mezi další drony spadající do stejné kategorie, proti kterým by bylo možné tento laserový systém použít, patří např. Boeing Insitu RQ-21, Boeing Insitu ScanEagle, AAI RQ-7 Shadow 200 Tactical, EMT Luna X-2000, Radioplane OQ-2 aj [61].

8 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ELIMINACE DRONŮ

V této kapitole jsou popsány nedestruktivní metody, pomocí kterých lze dron eliminovat. Přesto, že jsou to metody nedestruktivní, může při nich dojít k poškození bezpilotního systému. Není to však primárním cílem těchto metod a proto je lze označit jako nedestruktivní. Za primární cíl mají znemožnit pohyb dronu v chráněném prostoru a dále jej zajistit pro pozdější prohlídku.

Patří sem:

- chytání dronů do sítě,
- eliminace dronu dronem,
- rušení komunikačních signálů dronu,
- převzetí kontroly nad daným dronem.

8.1 Eliminace dronů pomocí sítě

Tato metoda nejlépe funguje na vrtulemi poháněné drony, jako jsou koptéry. Princip je prostý, jde o to vystřelit síť, do které se dron zachytí, což způsobí znemožnění jeho letu. Dron pak spadne k zemi buď pod tíhou sítě, či z důvodu zablokování pohybu jeho vrtulí (většinou stačí jedné z nich).

Síť může být buď vystřelena ze země, nebo ji může vystřelit jiný dron. To se však dostáváme k souboji dron proti dronu, což bude řešeno dále v samostatné kapitole. V případě vystřelení sítě ze země pak hraje klíčovou roli vzdálenost. Jelikož síť je poměrně těžkým a neaerodynamickým objektem, je tato technologie použitelná řádově na desítky metrů.

Nevýhodou tedy je zejména krátký dostřel a použitelnost pouze proti menším bezpilotním letadlům.

Mezi výhody pak patří jednoduchost řešení a jeho snadné použití. Navíc může být síť vybavena padáčkem, takže by nemělo docházet k výraznějšímu poškození vlivem pádu dronu. Díky tomu je možno dron po jeho eliminaci zajistit pro další prohlídku.

V současnosti se této technologii věnuje především společnost OpenWorks Engineering [67].

8.1.1 Skywall 100

Skywall 100 je zbraň sloužící k eliminaci bezpilotních letadel od firmy OpenWorks Engineering. Tato zbraň umožňuje vystřelit na svůj cíl síť doplněnou padáčkem, takže by mělo dojít k bezpečnému přistání zasaženého objektu [67].



Obrázek 21 Skywall 100 [68]

Pro výstřel projektilu je použitý stlačený plyn. Zaměřování je realizováno pomocí laseru, kterým je změřena vzdálenost dronu a pomocí softwaru zbraně je odhadnuta rychlost a budoucí dráha jeho pohybu. Zbraň by měla být schopná eliminovat dron jakéhokoli tvaru do velikosti 1,2 metru. Nezáleží na materiálu, z kterého je dron vyroben a ani na tom, zda se jedná o řízený či autonomní prostředek. Skywall 100 je účinný do vzdálenosti 100 m [67].

Tabulka 7 Technické parametry zbraně Skywall 100 [67]

Hmotnost	10 kg
Rozměry	1,3 x 0,31 x 0,28 m
Doba nabíjení	8 s
Dostřel	100 m
Funkční při teplotách	- 20 až + 65 °C
Zaměřování	laserové

Možnost využití tohoto zařízení je například na ochranu sportovních stadionů a dalších prostor, kde se konají venkovní akce, před malými bezpilotními letadly. Také je možné využít Skywall 100 při ochraně důležitých osob na veřejných shromážděních.

Výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost a také to, že dron je zajištěn bez jeho většího poškození.

Nevýhodou mohou být velké rozměry a hmotnost zbraně, které se podobají například zbraním protitankovým. Další nevýhodou je delší doba nabíjení, takže v případě, že obsluha mine, může daný dron během nabíjení úplně zmizet z dostřelu zbraně. Například dron DJI Phantom 4 s maximální rychlostí 20 m/s je během 8 s (doba nabíjení) schopen uletět až 160 m, čímž se bez problému může dostat mimo dostřel zbraně. Tento problém s praktickou kadencí zbraně může znamenat riziko také při nutnosti likvidace dvou bezpilotních letadel najednou [63].

Některé typy dronů proti kterým by Skywall 100 měl být účinnou zbraní: DJI Phantom 3 Standard, Blade 350 QX3, Autel Robotics X-Star Premium, AirDog Drone, Yuneec Typhoon H, Parrot Bebop, Lily Camera, Freely Systems Alta Hexacopter, Walkera QR X800 [63].

8.2 Eliminace dronu dronem

Tato metoda vychází ze stejného principu, jako metoda předchozí - tedy zachytit dron do sítě a způsobit tak znehybnění jeho vrtulí. Rozdíl je v tom, že síť sloužící k eliminaci dronu, je nesena jiným dronem.

Tento způsob eliminace dronu lze provést dvěma způsoby. Ten první byl vynalezen v Japonsku a spočívá v tom, že k většímu dronu je připevněna obdélníková síť, pomocí které pak zachytává drony menší, než je on sám [69].



Obrázek 22 Japonský způsob eliminace dronů [70]

Na obrázku 22 je dron typu DJI Spread Wings 900 s integrovanou sítí o rozměrech 2 x 3 m. Pomocí ní zachytí nepřátelský dron, který se do sítě zamotá svými vrtulemi a tak v ní zůstane zachycen. Díky tomu je pak možné bezpečně přistát i se zajištěným dronem aniž by došlo k jeho poškození [69].

Pro tuto metodu je důležité, aby dron, který provádí zachycení, byl rychlejší než dron, který má být chycen. Také by měl mít nosnost větší, než je hmotnost chytaného bezpilotního letadla, aby po zachycení nebyl sám stažen jeho vahou k zemi. Bepilotní systém je navíc ovládán manuálně, takže jeho efektivita závisí na obsluze daného systému. Do budoucna je však určitě možné zapojení autonomních systémů, což by mělo za následek zvýšení efektivity.

Výhodou tohoto řešení jsou nízké pořizovací náklady. Stejnou síť lze používat opakovaně, takže metoda není limitována počtem munice, jak tomu je u některých jiných eliminačních metod. Systém také lze použít na velkou vzdálenost.

Mezi nevýhody patří určité riziko, že by chycený dron mohl ze sítě vypadnout a došlo by k jeho poškození. A dále riziko, že vlivem hmotnosti chyceného dronu by mohlo dojít k pádu celého zachytávajícího systému. U neznámého dronu je totiž značně obtížné odhadnout, jestli se svou hmotností vejde do limitu se kterým je chytající dron ještě schopen letět. S tím jsou spojeny vysoké nároky na nosnost, rychlost a ovladatelnost dronu nesoucího síť. Dále jsou také kladeny vysoké nároky na obsluhu zařízení, neboť zručnost obsluhy je jednou z věcí, která limituje účinnost celého systému. Tato eliminační metoda je omezena na drony typu koptéra a dále je limitována jejich hmotností. Navíc v případě, že má dron instalovanou ochranu vrtulí – nemusí dojít k jeho zachycení do sítě.

Bezpilotní letadlo DJI Spread Wings 900 má maximální vzletovou hmotnost 8,2 kg. Samo pak váží 3,3 kg. Po přičtení hmotnosti sítě a ponechání určité rezervy lze odhadovat, že by tento systém při použití výše zmíněného bezpilotního letadla byl chopen zachytit drony do hmotnosti 4 kg [71].

Do této kategorie patří například modely: DJI Phantom 1 až 4, DJI Inspire 1, ProDrone Byrd Premium, JUI Hornet S FPV Quadcopter, Syma X5C Explorers, SteadiDrone Flare, Walkera Scout X4, Flypro XEagle Sport [63].

Druhým způsob, jak eliminovat dron prostřednictvím jiného dronu spočívá v tom, že k určenému bezpilotnímu letadlu je připevněno zařízení, které síť vystřeluje. V praxi to znamená, že s takto upraveným dronem se stačí dostat do palebné pozice vůči nepřátelskému dronu a následně na něj vystřelit síť. Dalo by se říci, že se jedná o obdobný způsob likvidace jako s použitím zařízení Skywall 100 s tím rozdílem, že síť je místo ze země odpalována z jiného dronu.

S touto technologií přišla firma Theiss UAV Solutions, který ji vyvíjí pod názvem Excipio [72].

8.2.1 Excipio

Excipio je zařízení, které se přimontuje na bezpilotní letadlo a umožňuje mu vystřelovat síť na nežádoucí drony. Řízení dronu nesoucího systém Excipio probíhá prostřednictvím FPV kamery – obsluha tedy vidí situaci z pohledu dronu, který ovládá. Obraz z kamery umístěné na dronu může být přenášen buď do speciálních brýlí či třeba na displej mobilního telefonu [72].



Obrázek 23 Dron se systémem Excipio [72]

System je stále ve vývoji a výrobci o něm zatím neuvádí žádné podrobnější technické specifikace. Nicméně by systém měl být schopný vystřelit síť na cíl a ten nechat spadnout, což znamená riziko poškození chyceného dronu. Výrobce však uvádí, že je možné síť opatřit malým padákem, který by zbrzdil pád a minimalizoval tak riziko poškození. Existuje však ještě další možnost, kdy vystřelená síť zůstane na šňůře propojená s dronem, který ji vystřelil, což pak umožňuje chycený dron transportovat do bezpečné oblasti a tam s ním bezpečně přistát. V tomto případě platí stejně jako u předchozího způsobu pravidlo, že dron, který nese zařízení Excipio musí mít větší nosnost, než je hmotnost dronu, který chytá. Zařízení umožňuje kromě dronů a jim podobným vzdušným cílům chytat do sítí i cíle pozemní, např. osoby. Díky tomu by se takto vybavené drony mohly uplatnit například i u policie. [72].

Výhodou tohoto systému je, že v případě vystřelování sítě, která není ukotvena k dronu, jenž ji vystřeluje, nezáleží na jeho nosnosti. Takže je možno i s menším dronem eliminovat dron podstatně větší. Další výhodou je univerzálnost použití, kdy kromě dronů jde toto zařízení použít i proti osobám.

Nevýhodou jsou opět vysoké požadavky na rychlost a ovladatelnost bezpilotního letadla nesoucí tento systém a v případě, že cíl chycený v síti bude dále transportován, také požadavky na nosnost. Dále je účinnost systému limitována schopností obsluhy. Největší riziko pak představuje to, že výstřel mine svůj cíl a dron bude muset přistát, aby mohlo dojít k jeho opětovnému nabytí, což by stálo spoustu cenného času. V případě, že je cíl chycen do sítě, která není nijak jistěna, hrozí riziko, že při pádu může ohrozit zdraví osob (např. při použití v obydlených oblastech).

Vhodnost použití této technologie je např. proti dronům: DJI Phantom 1 až 4, AEE Condor Premium, AEE AP10 Pro, Autel Robotics X-Star Premium, Blade 350 QX3, Aries BlackBird X10, Xiro Xplorer V. Blade Chroma, Lockheed Martin Indago, apod [63].

8.3 Eliminace dronů rušením jejich komunikace

Komunikace mezi dronem a jeho provozovatelem probíhá prostřednictvím elektromagnetického vlnění – konkrétně v pásmu rádiových vln, případně mikrovln. Nejčastěji drony komunikují v pásmu 2,4 GHz, případně pak 5 GHz. Obojí patří do bezlicenčního frekvenčního pásma. Ve stejném pásmu fungují například i Wi-Fi zařízení. Pokud dron letí v automatickém nebo poloautomatickém režimu využívá ke svému pohybu

GPS. Probíhá zde tedy další komunikace mezi dronem a družicemi. V civilním pásmu L1 probíhá GPS vysílání na frekvenci 1 575,42 MHz [73].

Metoda rušení signálu, pak využívá toho, že většina bezpilotních letadel při ztrátě komunikace se svým provozovatelem buď zahájí nouzové přistání, nebo se v nouzovém režimu vrátí na místo, odkud startovala. Na místo svého startu se však vrátí pouze v případě, že nedošlo k rušení GPS komunikace. V případě, že je rušeno i pásmo GPS, dojde k nouzovému přistání.

Rušení komunikačních kanálů dronu probíhá nejčastěji tak, že se směrem k němu vyšle silné elektromagnetické vlnění, které znemožní ostatní komunikaci. Jinou možností je pak soustavné vysílání rušícího signálu v určitém prostoru, kdy v případě, že se do těchto míst dostane dron, dojde ke ztrátě jeho komunikace.

Problém u této eliminační metody představuje zejména to, že ve většině zemí světa jsou rušičky nelegální, takže se v současné době nedá očekávat, že by technologie na tomto principu mohly být využívány komerčně. Avšak je možné, že by tyto technologie mohla začít užívat například policie. Další problém tvoří samotný rušivý signál vysílaný těmito zařízeními, který kromě dronů je schopen vyřadit i další elektronická zařízení využívající komunikaci prostřednictvím elektromagnetického vlnění. Sem patří kupříkladu veškerá zařízení využívající Wi-Fi, mobilní telefony, zařízení využívající GPS signál, televize a rádia, atd. Těžko si tedy lze představit použití takového zařízení někde v zastavěné oblasti, kde je běžně provozováno nespočet technologií využívajících elektromagnetického vlnění.

8.3.1 Battele DroneDefender

Tato zbraň funguje tak, že směrem k nežádoucímu dronu vyšle elektromagnetické vlnění, které tomuto dronu znemožní přijímání jakéhokoliv signálu, ať už se jedná o signál z jeho ovládacího zařízení nebo o signál GPS. Následně dron „zasažený“ touto zbraní zahájí nouzové přistání, přičemž zbraň kopíruje pohyb dronu, aby nadále zůstal v přítomnosti rušivého vlnění [74].



Obrázek 24 Battele DroneDefender [75]

DroneDefender je účinný až do vzdálenosti 400 m. A dle výrobce je vhodný především pro eliminaci dronů jako jsou kvadrokoptéry a hexakoptéry. Battele DroneDefender zatím není autorizovaným výrobkem a to z důvodu, že rušení signálů je v USA (kde byl vynalezen) a stejně tak ve většině dalších zemí nelegální [74].

Tabulka 8 Technické parametry Battele DroneDefenderu [74]

Hmotnost	do 6,8 kg (dle konfigurace)
Dosah	400 m
Reakční čas	pod 0,1 s
Operační výdrž	až 5 h
Efektivní úhel	30°
Ruší frekvence	GPS a běžná ISM pásma

Mezi výhody patří zejména jednoduché a rychlé použití, kdy stačí zamířit na cíl a téměř okamžitě je vyslán rušivý signál. Dále nehrozí riziko poškození dronu, neboť ten sám přistane. Díky tomu nehrozí ani riziko zranění osob přítomných v okolí. Výjimkou by však mohl být případ, kdy by toto zařízení bylo použito na model letadla. Protože modely neumožňují automatické přistání, při ztrátě komunikace s jejich ovládáním by mohlo dojít k havárii modelu. Výhodou pak je, že i když je DroneDefender označován jako zbraň, není možné jím při běžném provozu ohrozit zdraví osob. Dále má poměrně velký dosah a nehrozí, že by mu došla munice, limitní je pouze kapacita jeho baterie, která však zaručuje dostatečně dlouhý provoz.

Největší nevýhodou je, že toto zařízení v současné době není možné legálně používat. Druhou velkou nevýhodou tvoří vyslané rušivé elektromagnetické vlnění, které

kromě komunikace daného dronu ruší také komunikaci dalších zařízení v okolí, fungujících na stejných frekvencích (Wi-Fi zařízení, televizní vysílání, radia, GPS zařízení, atd.). V některých neobvyklých případech, jako je např. autonomní systém, který ke svému pohybu nepotřebuje ani GPS by toto řešení nebylo účinné.

Jelikož výrobce uvádí vhodnost použití DroneDefenderu zejména vůči dronům typu kvadrokoptéry a hexakoptéry, lze předpokládat využití mimo jiné proti následujícím typům: DJI Inspire1, DJI Phantom 1 až 4, FlyPro X Eagle Professional, AEE AP10 Pro, Yuneec Q500 Typhoon 4K, Xiro Xplorer 2, Yuneec Typhoon H, Parrot Bebop 2, Sci.Aero cyberQuad, Alied Drones HL48 Chaos, Walkera Voyager 3, Aerial Technology International, AgBOT, Freefly Systems Alta Hexacopter, Skyhawk RC Hexacopter Hawk F750 [63].

8.4 Převzetí kontroly nad nežádoucím dronem

Tento způsob zneškodnění nežádoucího dronu je velmi elegantní, neboť po převzetí do vlastní kontroly je možné s ním odletět mimo chráněnou oblast a posléze s ním i bezpečně přistát. Touto metodou nedochází k poškození dronu a je možné jej zajistit pro pozdější prohlídku.

Převzetí kontroly nad dronem lze v zásadě provést dvěma způsoby. Tím prvním je zachycení komunikace mezi daným dronem a jeho ovládací jednotkou. To lze provést například s použitím satelitního disku a TV tuneru. Pokud je tato komunikace zachycena, je následně možné začít posílat dronu vlastní pokyny, podle kterých se má jeho let řídit. Použití této technologie je však značně omezené. V první řadě nejde použít u autonomních bezpilotních systémů, kde žádná komunikace s obsluhou neprobíhá, neboť se zařízení pohybuje samo. A to stejné platí u dronů v automatickém režimu, kdy se tato bezpilotní letadla pohybují podle předem naprogramované trasy a během svého letu již žádné další pokyny nepřijímají. Dalším případem, kdy převzetí kontroly nad dronem bude s největší pravděpodobností neúspěšné je v případě šifrované komunikace mezi dronem a jeho provozovatelem [76].

Výhodou této metody je možnost převzít kontrolu nad nežádoucím dronem a bezpečně s ním přistát mimo hlídanou oblast, aniž by došlo k jeho poškození. Dalším pozitivem jsou nízké náklady na provoz. Tato technologie také není limitována množstvím munice, jako je tomu u destruktčních metod či při chytání dronů do sítě. Vzhledem k tomu,

že dochází k hacknutí konkrétního bezpilotního letadla, odpadá riziko ohrožování dalších elektronických zařízení v okolí, což je výhoda oproti předchozí metodě s rušením signálu. Tuto metodu by tedy bylo možné používat i v zastavěné oblasti.

Nevýhodou je opět nelegálnost použití této metody ve většině zemí světa. Další nevýhodou je poměrně nízká spolehlivost této metody, neboť ji nelze použít pro každé bezpilotní letadlo. Vždy záleží na tom v jakém režimu daný dron operuje a zda používá šifrovanou komunikaci. Což lze předem zjistit jen těžko. A pokud se na to přijde až v momentu, kdy má být daný dron eliminován, je už pozdě hledat jiné řešení. To znamená, že výhradně na tento způsob zneškodnění dronu se v praxi nedá spoléhat. Navíc tato metoda může být v nesprávných rukou lehce zneužita. Toto potenciální riziko hrozí např. při konání sportovních akcí. Obvykle je totiž na místě větší počet osob a zároveň bývají přítomny i zpravodajské drony. Mohlo by tedy dojít k převzetí kontroly zpravodajského dronu s následným ohrožením zdraví přítomných osob. S vývojem této technologie tedy roste i riziko jejího zneužití.

Druhý způsob využívá takzvaného GPS spoofingu. Jedná se o metodu, kdy je vytvořen falešný GPS signál, který je poté podstrčen bezpilotnímu letadlu. Tento falešný GPS signál lze vytvořit například pomocí malých přenosných GPS vysílačů. Aby daný dron tento signál přijmul, je důležité, aby byl o něco silnější, než originální signál, vysílaný satelity [77].

Pokud dron přijme falešný signál, je možné jej ovládat. Ovšem nejedná se o ovládání v pravém slova smyslu. Nelze totiž přímo určovat směr pohybu daného dronu. Je však možné mu podávat falešné informace o jeho poloze a tím jej donutit, aby letěl požadovaným směrem.

Tato technologie neumožňuje převzetí kontroly nad vojenskými drony, neboť pro vojenské účely je používáno jiné GPS pásmo, kde je komunikace šifrována. Stejně tak ji není možné využít vůči dronům ovládaným v manuálním režimu, ty totiž při svém letu GPS nevyužívají. Nevýhodou oproti předchozímu řešení je složitější ovládání hacknutého dronu, kdy zejména bezpečné přistání s tímto dronem by šlo realizovat jen velmi obtížně.

Výhodou jsou opět nízké náklady na provoz a bezpečnost tohoto řešení, kdy narozdíl od destruktivních metod není ohrožováno zdraví osob (případně majetek a životní prostředí) v blízkém okolí. Navíc se proti této metodě nedá bránit tak jednoduše jako v

předchozím případě, neboť komunikaci se satelity probíhající v civilním pásmu nelze šifrovat.

Použití obou metod převzetí kontroly nezáleží ani tak na typu dronu, jako spíš na tom, v jakém režimu aktuálně funguje. Dají se však doporučit pro eliminaci běžně dostupných a často používaných dronů, kterými jsou například: DJI Phantom 1 až 4, DJI Inspire 1, Yuneec Q500 4K, 3DR Solo, Parrot bebop, TBS Vendetta, IRC Vortex 250 Pro, Eachine Racer 250 RTF, Parrot AR Drone Quadricopter, Parrot AR.Drone 2.0, Syma X5C Explorers 2.4G, Hubsan X4 Quadcopter, Holy Stone F181 RC, apod [63].

9 DALŠÍ VÝVOJ V TECHNOLOGIÍCH DRONŮ

Vzhledem k tomu, že bezpilotní technologie jsou v současnosti stále na vzestupu, lze pokračování tohoto trendu předpokládat i do budoucna. S tím souvisí i očekávání dalších pokroků a inovací a to jak ve sféře dronů vojenských, tak i komerčních.

9.1 Vojenské drony

Co se týká vojenských dronů, je zde předpoklad pro jejich masivnější nasazování ve vojenských konfliktech. V současnosti využívá drony v armádě zejména USA a Izrael, ostatní státy je však postupně do své armádní techniky zařazují také. To pro vojenské drony znamená, že mají velké množství potenciálních klientů a tím i zajištěnou budoucnost po několik dalších let.

U vojenských dronů je třeba zapracovat zejména na jejich spolehlivosti. Podle Drone Crash Database došlo jenom za rok 2015 celkem k 43 případům havárií těchto bezpilotních letadel a to pouze v kategorii nad 150 kg [78]. Navíc se jedná pouze o zjištěné případy, takže lze předpokládat, že reálně by toto číslo bylo mnohem větší. Většina havárií pak byla způsobena poruchou elektroniky, ztrátou spojení, mechanickou závadou či chybou pilota. Toto jsou tedy oblasti, jejichž zlepšení by mělo být prvořadé. Je zde totiž značné riziko, že při pádu podobného zařízení může dojít k ohrožení zdraví a života osob. Zvláště když jsou vojenské drony často nasazovány v obydlených oblastech (Afghánistán, Sýrie). Dále může při havárii bezpilotního letadla dojít také k ohrožení životního prostředí či poškození majetku.

Kromě zlepšení spolehlivosti a bezpečnosti nasazení vojenských bezpilotních letadel, lze u těchto zařízení do budoucna očekávat také zlepšení jejich parametrů. To znamená, že drony budou rychlejší, přesnější, ničivější a hůře detekovatelné – použití stealth technologií. Bude tedy také obtížnější proti těmto bezpilotním letadlům bojovat. Bude nutné vyvinout přesnější radary – ty se totiž jeví jako nejlepší metoda pro detekci vojenských dronů, hlavně kvůli svému dosahu. Zejména u radiolokátorů pasivních je velký potenciál, neboť využívají jednu ze slabin většiny bezpilotních systémů, kterou je nutnost komunikovat se vzdáleným řídicím centrem. Pokud by však ve vojenském sektoru došlo k nasazení autonomních systémů, což se do budoucna dá očekávat, nebyly by pasivní radiolokátory již tak účinné. Mohly by totiž vyhodnocovat přítomnost dronu pouze na základě jeho odrazu, což by při použití stealth technologie představovalo značný problém.

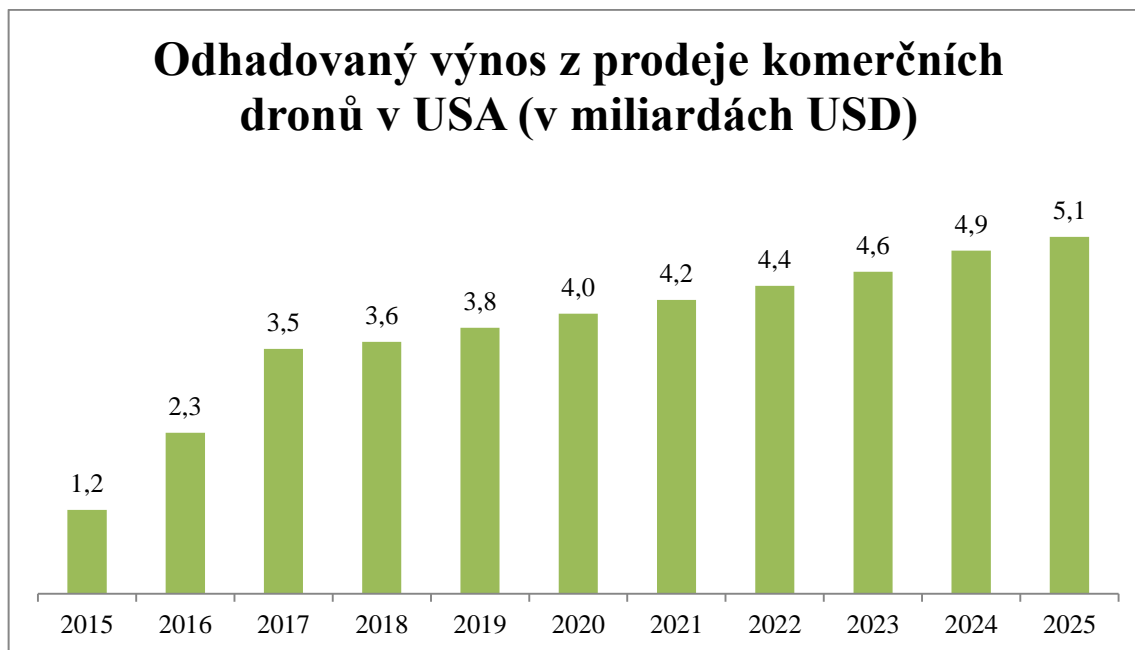
Nejde tedy vsadit pouze na vývoj jedné detekční metody, neboť každá má své světlé i stinné stránky. Jako vhodná detekční metoda do budoucna se jeví i termodynamická detekce. Ta při použití dokonalejší videoanalýzy – která je v současnosti na vzestupu a při vysokém rozlišení, bude také schopna detekovat nepřátelský dron na velkou vzdálenost. Co se týká zbraní, sloužících k likvidaci těchto dronů, zde se jako ideální kandidát jeví zbraně laserové. Jsou účinné na velkou vzdálenost, jdou používat skrytě, jejich provoz je levný a proti bezpilotním letadlům jsou účinné. Největší problém však u nich představují vysoké energetické nároky. Proto je u těchto technologií třeba se zaměřit na vývoj energetických zdrojů menších rozměrů.

U vojenských bezpilotních prostředků zatím platí pravidlo, že o provedení útoku (např. výstřelu rakety) vždy rozhoduje člověk. V budoucnu by však mohlo dojít ke vzniku autonomních systémů, kde už by toto pravidlo nemuselo platit. Celé řešení by fungovalo například tak, že by člověk zadal autonomnímu dronu pouze souřadnice cíle, který je třeba zničit a zbytek by již byl v rukou bezpilotního letadla. Ten by se na místo určení sám dopravil a ze vzdálenosti, kterou by vyhodnotil jako nejefektivnější by odpálil zbraně na cíl.

Očekávat lze i zaměření na vývoj maskovaných vojenských dronů, které budou mít podobu ptáků (v současnosti již existují podobné zařízení sloužící pro průzkum) či hmyzu. Takto maskované bezpilotní letouny by se pak snadno mohly dostat za nepřátelskou obranu a tam napáchat fatální škody pomocí výbušnin.

9.2 Komerční drony

Komerční drony jsou trendem současné doby. O tom svědčí i výnos z jejich prodeje, který v roce 2015 jen v USA činil 2,3 miliardy USD (viz obrázek 25). Což je téměř dvojnásobek oproti předchozímu roku 2014. Podle magazínu Forbes lze tento vzestupný trend očekávat i v příštích letech.



Obrázek 25 Odhadovaný výnos z prodeje komerčních dronů v USA [79]

Navíc se objevují stále nové firmy, které se výrobou bezpilotních letadel zabývají, takže v souvislosti s nárůstem konkurence lze předpokládat i jejich nižší cenu. Z toho pak vyplývá snadnější dostupnost těchto prostředků a jejich markantnější rozšíření. Čím více pak bude dronů v populaci, tím větší je riziko ohrožení bezpečnosti. Ne že by snad tento zvyšující se počet dronů znamenal větší riziko jejich úmyslného zneužití. Určitě však bude přibývat případů, kdy dojde k neúmyslnému ohrožení osob, majetku či životního prostředí vlivem nesprávné manipulace s bezpilotním letadlem.

Proti tomu se dá částečně bojovat například preventivním opatřením, kdy bude do softwaru dronu již při výrobě implementován souřadnicový seznam všech bezletových zón. Když poté provozovatel dronu bude chtít se svým zařízením vletět např. do bezletové zóny v okolí letiště, dron jej odmítne poslechnout. Samozřejmě toto opatření nezabrání úmyslnému létání do těchto zón, protože když někdo bude chtít bezpilotní prostředek zneužít, najde si způsob, jak toto softwarové opatření odstranit či obejít. Případně by si potenciální pachatel někde sehnal dron „neoficiální“ výroby, který by toto opatření implementováno neměl. Každopádně by tímto poměrně jednoduchým způsobem byl zredukován počet případů neúmyslného narušování bezletových oblastí.

Další riziko ohrožení zdraví osob nastává při havárii bezpilotního letadla. Tady je stejně jako v předchozí kapitole možné tento jev eliminovat zvýšením spolehlivosti

elektroniky a mechanických součástí dronu. Co se týká havárií způsobených chybou pilota (kupříkladu náraz do stromu), je možné počet těchto událostí omezit vylepšením autonomních schopností těchto zařízení. To obnáší implementaci počítačového vidění do bezpilotního systému vybaveného videokamerou. Dron pak bude schopný sám reagovat na překážky nacházející se v cestě jeho pohybu, jako jsou stromy, budovy, dopravní prostředky a jiné objekty.

Vývoj autonomních bezpilotních systémů je oblastí, která má do budoucna asi největší potenciál. Jedno z nejčastějších využití bezpilotních systémů totiž je natáčení videozáznamů. Pokud chce majitel dronu natáčet sám sebe při nějaké činnosti, aniž by s sebou musel mít další osobu, která bude dron ovládat, nemá jinou možnost než využít právě autonomní systém. V současnosti už existují drony, které se dokáží autonomně pohybovat v určité vzdálenosti kolem vybrané osoby a zaznamenávat její činnost. Stále se však nejedná o dokonalé systémy a proto je zde prostor pro vylepšování. Do budoucna by tyto systémy například mohly reagovat na gesta vydávaná rukou jejich majitele.

Z bezpečnostního hlediska je u komerčních dronů výhodou, že se jejich výrobci nezabývají tím, jak docílit, aby byl jejich dron, co nejhůře detekovatelný, jako je tomu u dronů armádních. Takže v tomto ohledu by způsoby detekce sice mohly zůstat stejné, avšak jsou zde jiné parametry, které odhalování dronů ovlivňují. Tím prvním je velikost odrazných ploch, která ovlivňuje zejména aktivní radiologickou detekci. I když výrobci se nesnaží vyrábět drony takových tvarů, které by rozptýlily elektromagnetické vlnění vyzařované radarem, tak jistým trendem ve výrobě je miniaturizace. To znamená, že vznikají stále menší bezpilotní zařízení a s tím samozřejmě souvisí i jejich menší odrazná plocha. Malé drony sice nepředstavují nějak významné potenciální riziko přenosu nebezpečného materiálu, ale mohly by být použity třeba ke špionáži. Pro jejich detekci je nutné zapracovat na větší citlivosti u aktivních radiolokačních zařízení. Stejně tomu bude i u akustické detekce, kdy je logické, že menší zařízení bude tišší a tím hůře detekovatelné. Zkrátí se také detekční vzdálenost pro inteligentní videoanalýzu. Jediná detekční metoda, kterou to neovlivní je pasivní radiolokace, ale to jen v případě, že bude daný dron vysílat elektromagnetické vlnění.

Vzhledem k tomu, že velké firmy (Amazon, Google) by do budoucna chtěly nasadit drony jako poslíčky pro doručování zásilek, dá se očekávat, že další vývoj se bude zaměřovat na zvýšení nosnosti, rychlosti a doby letu. Ostatně kromě doručování zásilek by drony měly sloužit i ve zdravotnictví jako rychlý transport defibrilačního přístroje na místo

nehody, nebo pro přenos krve. Tomu, že se budoucí vývoj bude zabývat zvýšením rychlosti bezpilotních letadel, nasvědčuje také to, že se s nimi začínají pořádat závody. Toto zdokonalování bezpilotních prostředků však opět vede ke zvyšování potenciálního rizika jejich zneužití. Například díky větší nosnosti budou moci nést větší množství nebezpečného materiálu, což představuje větší bezpečnostní hrozbu. Díky vyšší rychlosti pak bude obtížnější je detekovat a následně eliminovat. I když se podaří dron detekovat ve stejné vzdálenosti, jako by tomu bylo u pomalejšího zařízení, bude na jeho eliminaci kvůli vyšší rychlosti méně času. Navíc rychleji se pohybující cíl je mnohem obtížnější zasáhnout – to se týká hlavně použití sítí (vystřelovaných ze země) a střelných zbraní. Pro metodu převzetí kontroly nad dronem by zase nemuselo být dostatek času. Jako účinný způsob eliminace se v tomto případě jeví použití rušícího signálu. Vysílané elektromagnetické vlnění totiž může mít poměrně široký záběr, takže u této metody není nutná taková přesnost. V případě, že by byl pro ochranu k dispozici dron vybavený sítí s větší rychlostí než je rychlost nežádoucího dronu, byl by možné jej eliminovat i tímto způsobem. Avšak tato metoda je značně limitována zručností obsluhy, která při vysoké rychlosti vůbec nemusí být přesná. Proto by bylo vhodné použít chytající dron fungující autonomně.

Očekávat lze také pokrok ve vývoji ovládacích zařízení, jako jsou speciální brýle umožňující provozovateli dronu sledovat okolí z jeho perspektivy. V současnosti je zde největší problém s rychlostí přenosu, kdy není možné přenášet FPV video v reálném čase a zároveň ve vysoké kvalitě. Problematický je také omezený dosah této technologie.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá jednou z největších bezpečnostních hrozeb současnosti – drony. I když jsou tyto bezpilotní prostředky pro mnohé obory velkým přínosem (zdravotnictví, hasičské záchranné sbory, policii, multimédia) v nesprávných rukou mohou napáchat četné škody. A to jak na zdraví osob, tak na majetku či na životním prostředí. Cílem práce bylo popsat a vhodně rozebrat jednotlivé metody, pomocí kterých je možné bezpilotní letadlo zlikvidovat.

V teoretické části je charakterizován pojem dron a legislativní podmínky platné pro jeho provoz v rámci České republiky. Dále je uvedena historie vývoje bezpilotních prostředků a jejich rozdělení podle různých charakteristik. V závěru teoretické části jsou uvedeny možnosti nezákonného použití dronů a rizika s tím spojená.

Aby mohlo dojít k likvidaci dronu, je nejprve nutné zjistit jeho přítomnost. Proto jsou v praktické části nejprve řešeny způsoby detekce těchto prostředků. Jednotlivé metody jsou rozebrány a hodnoceny z hlediska jejich možného použití a toho, jaké přinášejí výhody a nevýhody. Na to navazují dvě kapitoly zabývající se možnostmi eliminace konkrétního dronu. V té první jsou popsány destruktivní metody, jako je použití střelných a laserových zbraní či protiletadlové techniky. Druhá kapitola řeší nedestruktivní metody eliminace bezpilotních letadel, což zahrnuje chytání dronů do sítě, rušení jejich komunikace, eliminaci dronu dronem či převzetí jejich kontroly. Každá metoda je stručně charakterizována a následně je řešena vhodnost jejího použití. Dále jsou u daných eliminačních způsobů rozebrány jejich kladné a záporné stránky. U většiny metod jsou uvedena a zhodnocena také konkrétní technická řešení.

Poslední kapitola pojednává o možném budoucím vývoji v bezpilotních technologiích se zaměřením na rizika, která s sebou tento vývoj může přinést. Dále je diskutováno o možnostech, jak tato rizika řešit a na co se v dalším vývoji zaměřit.

Co se týká způsobů detekce, dá se říci, že žádný z nich není pro zjištění bezpilotních letadel úplně ideální. Vhodné je proto využít kombinaci více metod, což zajistí spolehlivější detekci. Velký potenciál představují pasivní radiolokátory, které pro zjištění přítomnosti dronu v hlídaném prostoru využívají jeho vlastní komunikace. Aby však nedocházelo k průletům autonomních zařízení, u kterých žádná komunikace probíhat nemusí, bylo by vhodné tuto metodu doplnit například termografickou kamerou, která by se postarala právě o ona autonomní zařízení. Zajímavou alternativu pak představují

detektory akustické, které jsou vhodné i do městského prostředí. Dají se však poměrně snadno obejít.

S eliminačními metodami se to má podobně, takže je ideální používat alespoň dva způsoby, kterými lze dron zneškodnit s tím, že jeden bude primární a druhý bude sloužit jako záložní, kdyby primární selhal. Tímto způsob lze používat například laserovou zbraň v kombinaci s brokovou střelnou zbraní. Primární bude laser, který má větší dosah. Pokud by se však s jeho pomocí nepodařilo dron zlikvidovat dřív, než by se dostal do blízkosti hlídaného prostoru, přijde na řadu zbraň záložní. Obdobně by šlo použít dron nesoucí síť jako primární metodu v kombinaci s rušícím zařízením jako záložní způsob.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] GUNDLACH, Jay. *Designing unmanned aircraft systems: a comprehensive approach*. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, c2012, xli, 805 p. ISBN 9781600868436.
- [2] General Atomics Readies Drone for European Skies. *Naval Open Source INTelligence* [online]. 2015 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://nosint.blogspot.cz/2015/06/general-atomics-readies-drone-for.html>.
- [3] Letadla bez pilota na palubě: Co je to bezpilotní letadlo, bezpilotní systém, model letadla? *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/co-je-to-bezpilotni-letadlo-bezpilotni-system-model-letadla>.
- [4] ZALOGA, Steve a Ian PALMER. *Unmanned aerial vehicles: robotic air warfare, 1917-2007*. New York: Osprey, 2008, 48 p. ISBN 1846032431.
- [5] Remote Piloted Aerial Vehicles: An Anthology. *Faculty of Engineering, Monash University* [online]. monash.edu, 2003 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html#Beginnings.
- [6] TAYLOR, John W a Kenneth MUNSON. *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles: robot aircraft today*. 1st American ed. New York: Collier Books, 1977. ISBN 002080640X.
- [7] The Aerial Target and Aerial Torpedo in the USA. *Faculty of Engineering, Monash University* [online]. monash.edu, 2003 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.ctie.monash.edu/hargrave/rpav_home.html#Beginnings.
- [8] HOWETH, Linwood S. *History of communications electronics in the United States Navy*. Washington: [For sale by the Superintendent of Documents, U.S. Govt. Print. Off.], 1963.
- [9] ED. BY KIMON P. VALAVANIS. *Advances in unmanned aerial vehicles state of the road to autonomy*. Aktualisierte. Dordrecht: Springer, 2008. ISBN 9781402061141.

- [10] VISINGR, Lukáš. *Bezpilotní vzdušné prostředky* [online]. 2007 [cit. 2010-05-22]. Lvisingr.czweb.org. Dostupné z WWW: <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>.
- [11] First Atlantic crossing by an Unmanned Aircraft. *Barnard Microsystems* [online]. London, 2014 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://www.barnardmicrosystems.com/UAV/milestones/atlantic_crossing_1.html
- [12] BQM-34 Firebee UAV. *Olive-Drab* [online]. 2011 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: http://olive-drab.com/idphoto/id_photos_uav_bqm34firebee.php
- [13] A Short History of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). *Draganfly.com Industrial Aerial Video Systems & UAVs* [online]. Saskatoon, 2009 [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www.draganfly.com/news/2009/03/04/a-short-history-of-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>
- [14] ARJOMANDI, Maziar. *Classification of unmaned aerial vehicles*. Adelaide, Australia, 2007. The University of Adelaide, Mechanical Engineering.
- [15] DRAXLER, Karel. *Aerodynamika, konstrukce a systémy letounů: studijní modul II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005-. Učební texty pro teoretickou přípravu osvědčujícího personálu údržby letadel dle předpisu JAR-66. ISBN 80-7204-367-6.
- [16] TRYLČ, Michal. *UAV letoun*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Jiří Barták.
- [17] ED. BY KIMON P. VALAVANIS. *Advances in unmanned aerial vehicles state of the art and the road to autonomy*. Aktualisierter. Dordrecht: Springer, 2008. ISBN 9781402061141.
- [18] HAMAN, Tomáš. *Přehled bezpilotních letounů*. Brno, 2010. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Letecký ústav. Vedoucí práce Ivan Dofek.
- [19] ČESKÁ REPUBLIKA. *Letecký předpis L2 - Pravidla létání: Doplněk X - Bezpilotní systémy*. In: Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2014, 153/2014-220.

- [20] Letadla bez pilota na palubě: Podle kterého předpisu se řídí provoz bezpilotních letadel / systémů? *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/proc-byly-pozadavky-na-ua-stanoveny-a-podle-ktereho-predpisu>.
- [21] Letadla bez pilota na palubě: Chci provozovat bezpilotní letadlo / systém, jak mohu postupovat? *Úřad pro civilní letectví* [online]. Praha, 2011 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/budu-chtit-provozovat-bezpilotni-letadlo-jak-postupovat>.
- [22] ČESKÁ REPUBLIKA. *Letecký předpis L2 - Pravidla létání: Dodatek 5 – Volné balóny bez pilota na palubě se zátěží*. In: Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2014, 153/2014-220.
- [23] ČESKÁ REPUBLIKA. *Letecký předpis L2 - Pravidla létání: Doplněk R – Podmínky pro provoz balónů bez pilota na palubě*. In: Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2014, 153/2014-220.
- [24] ČESKÁ REPUBLIKA. *Letecký předpis L2 - Pravidla létání: Dodatek 4 – Systémy dálkově řízeného letadla*. In: Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, Úřad pro civilní letectví, 2014, 153/2014-220.
- [25] MOSKVITCH, Katia. Are drones the next target for hackers? In: *BBC* [online]. 2014 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/future/story/20140206-can-drones-be-hacked>.
- [26] Drone 'containing radiation' lands on roof of Japanese PM's office. In: *The Guardian* [online]. 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.theguardian.com/world/2015/apr/22/drone-with-radiation-sign-lands-on-roof-of-japanese-prime-ministers-office>.
- [27] EDF France: Inquiry after drones buzz nuclear sites. In: *BBC News* [online]. 2014 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/world-europe-29831897>
- [28] BROŽ, Jan. Teroristé můžou použít jaderný odpad jako zbraň, říká německá vědkyně. In: *IDnes.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://ekonomika.idnes.cz/teroriste-mohou-pouzit-jaderny-odpad-rika-nemeka-fyzicka-oda-beckerova-134-/ekonomika.aspx?c=A160411_2238294_ekonomika_rts.

- [29] VÍTEK, Jan. Dron: zabiják i pomocník: Vojenské drony: od balónu po řízené letouny. In: *Svět hardware* [online]. 2014 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/dron-zabijak-i-pomocnik/39615-2>
- [30] SCHMIDT, Michael a Michael SHEAR. A Drone, Too Small for Radar to Detect, Rattles the White House. In: *The New York Times* [online]. 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: http://www.nytimes.com/2015/01/27/us/white-house-drone.html?ref=us&_r=0
- [31] LOCKIE, Alex. An 18-year-old mounted a gun to a drone and fired shots in the middle of the woods. In: *Business Insider* [online]. 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/an-18-year-old-mounted-a-gun-to-a-drone-and-fired-shots-in-the-middle-of-the-woods-2015-7>
- [32] KLASNA, Filip. I zloději začali používat drony. In: *SECURITY MAGAZÍN* [online]. 2015 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.securitymagazin.cz/technologie/i-zlodeji-zacali-pouzivat-drony-1404045467.html>
- [33] LOPEZ, Oscar. Mexican Drug War News: DEA Reveals Cartels Use Drones To Transport Drugs From Mexico Into US. In: *Latin Times* [online]. 2014 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.latintimes.com/mexican-drug-war-news-dea-reveals-cartels-use-drones-transport-drugs-mexico-us-190217>.
- [34] MCVICKER, Laura. Drone Carrying Meth Crashes Near San Ysidro Port of Entry. In: *NBC 7 San Diego* [online]. 2015 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.nbcsandiego.com/news/local/Drone-Carrying-Meth-Crashes-Near-San-Ysidro-Port-of-Entry-289353601.html>.
- [35] Cigarety v Zakarpatí začali pašovat pomocí bezpilotních dronů. In: *I-RU.CZ* [online]. 2015 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.irucz.ru/cz/zpravy/1-/118000000000-ukrajina/118001000000-ukrajina--zapadni/118001007000-zakarpatoblast/101-celnice/29421-cigarety-v-zakarpati-zacali-pasovat/>.
- [36] Big rise in drone jail smuggling incidents. In: *BBC News* [online]. 2015 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.bbc.com/news/uk-35641453>

- [37] KHARPAL, Arjun. Police stop ANOTHER drone delivering drugs to prison. In: *CNBC: Stock Markets, Business News, Financials, Earnings* [online]. 2015 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://www.cnbc.com/2015/08/25/police-stop-another-drone-delivering-drugs-porn-to-prison.html>.
- [38] MINAŘÍK, Petr. Hackování bezdrátových tiskáren s pomocí telefonu a dronu. In: *Droncentrum* [online]. 2016 [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: <http://www.droncentrum.cz/hackovani-bezdratovych-tiskaren-s-pomoci-telefonu-a-dronu/>.
- [39] PAGANINI, Pierluigi. Hacking Traffic lights and other control systems is not so hard. In: *Security Affairs* [online]. 2014 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://securityaffairs.co/wordpress/24507/hacking/hacking-traffic-lights.html>
- [40] The Age of Drone Vandalism Begins With an Epic NYC Tag. In: *WIRED* [online]. 2015 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.wired.com/2015/04/age-drone-vandalism-begins-epic-nyc-tag#slide-2>.
- [41] PŘIBYLA, David. *Radary - současně používané systémy* [online]. Praha, 2006 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: https://www.fd.cvut.cz/projects/k621x1c/dokumenty/RADARY_soucasne_pouzivane_systemy_24_4_2006.pdf. Semestrální práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Katedra letecké dopravy.
- [42] KUSALA, Jaroslav. Radarová encyklopedie. In: *Ministerstvo obrany a Armáda České republiky* [online]. 2008 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://www.army.cz/images/id_8001_9000/8753/radar/kap2.htm
- [43] ED. BY KIMON P. VALAVANIS. *Advances in unmanned aerial vehicles state of the art and the road to autonomy*. . Aktualisierete. Dordrecht: Springer, 2008. ISBN 9781402061141.
- [44] DRAŽAN, Libor. *Co je nového v technice radiolokátorů* [online]. Brno, 2015 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.konferadio.cz/files/prezentace/Drazan_Co-je-noveho-v-technice-radiolokatoru.pdf. Univerzita obrany, Fakulta vojenských technologií, Katedra radiolokace.

- [45] ŠTĚPÁNEK, Ondřej. RoBird: robotický dron vytištěný na 3D tiskárně, který vypadá jako skutečný dravec. In: *PCTuning* [online]. 2015 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://pctuning.tyden.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=37381&catid=1&Itemid=57
- [46] Je jen otázkou času, kdy budou drony zneužity. Jakou máme protidronovou obranu? PAŠKOVÁ, Miroslava. *Security Magazin*. Březen/duben. 2016.
- [47] RABBATH, Camille Alain a N LÉCHEVIN. Safety and reliability in cooperating unmaned aerial systems. New Jersey: World Scientific, 2010, ix, 223 p.
- [48] Elektromagnetické vlny - vlnová optika. In: *Wiki Matfyz* [online]. 2014 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: http://wiki.matfyz.cz/index.php?title=11b._Elektromagnetick%C3%A9_vlny_-_vlnov%C3%A1_optika
- [49] SRUBAR, Martin. Pasivní radary jako strategická zbraň. In: *Techblog* [online]. 2005 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.techblog.cz/technologie/pasivni-radary-jako-strategicka-zbran.html>
- [50] FROLIC, Kai. What is Wide Area Multilateration (WAM)? In: *Pager Power* [online]. 2015 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.pagerpower.com/news/wide-area-multilateration-wam/>
- [51] VERA-NG: Sees without being seen. In: *ERA a.s.* [online]. 2016 [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.era.cz/military-security/vera-ng>
- [52] PRODUCTS. In: *DroneShield* [online]. 2016 [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: <https://www.droneshield.com/products>
- [53] GAJDUŠEK, Lukáš. *Evaluace obrazových funkčních vlastností kamerových dohledových systémů*. Zlín, 2014. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Kateřina Sulovská.
- [54] Pokročilá videoanalýza obrazu. In: *ABBAS: Elektronické zabezpečení majetku, kamerové systémy, požární signalizace* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.abbas.cz/clanky/recenze-technika/pokrocila-videoanaliza-obrazu/>
- [55] Multi-Sensor Drone Warning System. In: *Dedrone: Drone detection and protection* [online]. 2016 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.dedrone.com/en/dronetracker/drone-detection-hardware>

- [56] VISINGR, Lukáš. POZEMNÍ TECHNIKA: Samohybné protiletadlové kanony. In: *Vojsko.net* [online]. 2015 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.vojsko.net/index.php/pozemni-technika/49-protivzdušna-obrana/3201-samohybne-protiletadlove-kanony>
- [57] JAS-39 Gripen. In: *Armáda* [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.acr.army.cz/technika-a-vyzbroj/letecka/-jas-39-gripen-89934/>
- [58] Přenosná protiletadlová řízená střela FIM-92 Stinger pro 21. století. In: *Ministerstvo obrany a Armáda České republiky* [online]. 2015 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.army.cz/scripts/detail.php?id=534>
- [59] PARSCH, Andreas. Directory of U.S. Military Rockets and Missiles: Raytheon (General Dynamics) FIM-92 Stinger. In: *Designation-Systems.Net* [online]. 2005 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-92.html>
- [60] ELERT, Glenn. Range of a Shotgun Pellet. In: *The Physics Factbook: An Encyclopedia of Scientific Essays* [online]. 2003 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://hypertextbook.com/facts/2003/DianaYang.shtml>
- [61] Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Unmanned Combat Aerial Vehicles (UCAVs) and Drone Aircraft. In: *Military Factory: Military Weapons - Aircraft, Tanks*, [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.militaryfactory.com/aircraft/unmanned-aerial-vehicle-uav.asp>
- [62] May 2016 Top 10 best drones and quadcopters list. In: *Mini drone review: Best mini drone quadcopter reviews* [online]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://minidronereview.com/top-10-best-quadcopter-and-drones-for-2015-2016/>
- [63] Compare Drones. *SpecOut: Tech Research Engine* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://drones.specout.com/>
- [64] VISINGR, Lukáš a Štěpán KOTRBA. Laserové zbraně: paprsky smrti ve službách velmocí. In: *Britské listy* [online]. 2008 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://blisty.cz/art/41863.html>
- [65] GROHMAN, Jan. Ostré testování námořního laserového děla LaWS. In: *ARMÁDNÍ NOVINY* [online]. 2014 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/ostre-testovani-namorniho-laseroveho-dela-laws.html>

- [66] SIMOES, Hendrick. Navy encouraged by performance of laser system on USS Ponce. In: *Stars and Stripes* [online]. 2014 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://www.stripes.com/news/navy-encouraged-by-performance-of-laser-system-on-uss-ponce-1.317775>
- [67] SkyWall: Capture drones - protect assets. In: *OpenWorks Engineering: The latest technology news and information on startups* [online]. 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://openworksenvironment.com/skywall>
- [68] BURNS, Matt. The SkyWall 100 bazooka captures drones with a giant net. In: *TechCrunch: The latest technology news and information on startups* [online]. 2016 [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: <http://techcrunch.com/2016/03/04/the-skywall-100-bazooka-captures-drones-with-a-giant-net/>
- [69] VOŘÍŠEK, Lukáš. Opatření proti nepovolenému létání aneb jak dron v Tokiu loví drony do sítě. In: *Cdr.cz: Vybráno z IT* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://cdr.cz/clanek/opatreni-proti-nepovolenemu-letan-aneb-jak-dron-lovi-drony-do-site-video>
- [70] LEE, Tyler. In Japan, Drones With Nets Are Used To Catch Rogue Drones. In: *Ubergizmo* [online]. 2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ubergizmo.com/2015/12/japan-catches-drones-with-nets/>
- [71] Spreading Wings S900. In: *DJI: The World Leader in Camera Drones/Quadcopters for Aerial Photography* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.dji.com/product/spreading-wings-s900>
- [72] Spreading Wings S900. In: *DJI: The World Leader in Camera Drones/Quadcopters for Aerial Photography* [online]. 2016 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <https://www.dji.com/product/spreading-wings-s900>
- [73] Rušičky GPS signálu. In: *Pandatron.cz: Elektrotechnický magazín* [online]. 2010 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://pandatron.cz/?1727&rusicky_gps_signalu
- [74] Battelle DroneDefender: Directed-energy Unmanned Aircraft System Countermeasure. In: *Battelle* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.battelle.org/our-work/national-security/tactical-systems/battelle-dronedefender>

- [75] GUARINO, Ben. Radio-Wave Jamming Gun Stops Outlaw Drones Without Damage. In: *Inverse* [online]. 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.inverse.com/article/7149-radio-wave-jamming-gun-stops-outlaw-drones-without-damage>
- [76] Drone survival guide. In: *SURVIVOR: přežití* [online]. 2014 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.survivor.cz/drone-survival-guide/>
- [77] BUESNEL, Guy. GPS Spoofing Is Now A Real Threat – Here’s What Manufacturers of GPS Devices Need to Know. In: *Spirent: Network, devices & services testing* [online]. 2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.spirent.com/Blogs/Positioning/2015/September/GPS_Spoofing_Is_a_Real_Threat
- [78] Drone Crash Database. In: *Drone Wars UK: Information and comment on use of drones* [online]. 2016 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <https://dronewars.net/drone-crash-database/>
- [79] MCCARTHY, Niall. The Commercial Drone Sector Is Set To Contribute Billions To The U.S. Economy [Infographic]. In: *Forbes* [online]. 2015 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: <http://www.forbes.com/sites/niallmccarthy/2015/10/19/the-commercial-drone-sector-is-set-to-contribute-billions-to-the-u-s-economy-infographic/#52bfea5e7505>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

§	Paragraf
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UA	Unmanned Aircraft
kg	Kilogram
UAS	Unmanned Aircraft Systems
USA	United States of America
km	Kilometr
m	Metr
Ma	Machovo číslo
LIS	Letecká informační služba
ÚCL	Úřad pro civilní letectví
LP	Letecké práce
LČPVP	Letecká činnost pro vlastní potřebu
ID	Identification
LVV	Letecká veřejná vystoupení
ATZ	Aerodrome Traffic Zone
CTR	Controll Traffic Region
RPAS	Remotely Piloted Aircraft Systems
GPS	Global Positioning System
DEA	Drug Enforcement Administration
BBC	British Broadcasting Corporation
RADAR	Radio Detection and Ranging
m ²	Metr čtvereční
3D	Trojdimenzionální
2D	Dvoudimenzionální

PC	Personal Computer
IVSS	Intelligent Video Surveillance System
Wi-Fi	Wireless Fidelity
GHz	Gigahertz
HD	High-Definition
LAN	Local Area Network
GB	Gigabyte
SMS	Short Message Service
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
SNMP	Simple Network Management Protocol
mm	Milimetr
km/h	Kilometr za hodinu
s	Sekunda
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
LaWS	Laser Weapon System
USS	United States Ship
°C	Stupeň Celsia
m/s	Metr za sekundu
FPV	First Person View
MHz	Megahertz
ISM	Industrial Scientific and Medical
TV	Television
USD	United States Dollar

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Dron MQ – 9 Reaper vystřelující raketu [2]	11
Obrázek 2 Rakouské balóny [5].....	13
Obrázek 3 Vzdušné torpédo Hewitt-Sperry 1918 [7]	14
Obrázek 4 Ryan BQM – 34 Firebee [12].....	15
Obrázek 5 UAV Laima [17]	15
Obrázek 6 Legendy k obrázkům 7 a 8 [19]	27
Obrázek 7 Provoz bezpilotních systémů v ATZ a prostorech třídy G a E [19].....	27
Obrázek 8 Provoz bezpilotních systémů v CTR a dalších prostorech [19]	28
Obrázek 9 Klasifikace volných balónů bez pilota na palubě [22]	30
Obrázek 10 Výšková omezení upoutaného balónu bez pilota na palubě [23].....	31
Obrázek 11 Zajištění dronu s radioaktivním odpadem [26]	33
Obrázek 12 Zřícený dron pašující metamfetamin [34]	35
Obrázek 13 Dron a zboží zadržené ve věznici v Marylandu [37].....	36
Obrázek 14 Dron upravený pro kresbu graffiti [40]	37
Obrázek 15 Znázornění principu multilaterace [50].....	43
Obrázek 16 Omnidirectional sensor [52].....	45
Obrázek 17 Long-range sensor [52]	46
Obrázek 18 Data Sheet DroneTracker V 2.0 [55]	49
Obrázek 19 Raketový komplet FIM-92A Stinger [59].....	51
Obrázek 20 AN/SEQ-3 Laser Weapon Systém [66]	55
Obrázek 21 Skywall 100 [68]	57
Obrázek 22 Japonský způsob eliminace dronů [70]	59
Obrázek 23 Dron se systémem Excipio [72]	60
Obrázek 24 Battele DroneDefender [75]	63
Obrázek 25 Odhadovaný výnos z prodeje komerčních dronů v USA [79]	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla – 1. Část [19].....	23
Tabulka 2 Další podmínky pro provoz bezpilotního letadla – 2. Část [19].....	24
Tabulka 3 Přehled detekčních metod na základě vlastností dronu	39
Tabulka 4 Porovnání efektivní odrazné plochy cílů [44]	41
Tabulka 5 Technické parametry zařízení Data Sheet DroneTracker V 2.0 [55]	49
Tabulka 6 Technické parametry raketového kompletu FIM-92A Stinger [58].....	52
Tabulka 7 Technické parametry zbraně Skywall 100 [67]	57
Tabulka 8 Technické parametry Battele DroneDefenderu [74].....	63